



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA**

Márcia Camilo Figueiredo

**APLICAÇÃO DE UM JOGO DIGITAL E ANÁLISE DE CONCEITOS
DA TEORIA CINÉTICA DOS GASES**

**Bauru - SP
2016**

Márcia Camilo Figueiredo

**APLICAÇÃO DE UM JOGO DIGITAL E ANÁLISE DE CONCEITOS
DA TEORIA CINÉTICA DOS GASES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, da área de concentração em Ensino de Ciências, Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” / UNESP, Campus de Bauru, como requisito à obtenção do título de Doutora em Educação para a Ciência.

Orientador: Prof. Dr. Aguinaldo Robinson de Souza

**Bauru - SP
2016**

**DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
UNESP – BAURU**

Figueiredo, Márcia Camilo.

Aplicação de um jogo digital e análise de
conceitos da teoria cinética dos gases / Márcia
Camilo Figueiredo, 2016.

321 f.: il.

Orientador: Aguinaldo Robinson de Souza

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Ciências, Bauru, 2016

1. Aleatoriedade. 2. Irreversibilidade. 3. Ensino
de química. 4. Trajetórias de partículas. I.
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências.
II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE MÁRCIA CAMILO FIGUEIREDO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS.

Aos 04 dias do mês de março do ano de 2016, às 14:00 horas, no(a) Auditório da Biblioteca do campus de Bauru, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. AGUINALDO ROBINSON DE SOUZA - Orientador(a) do(a) Departamento de Química / Faculdade de Ciências - UNESP/Bauru, Prof. Dr. WILSON MASSASHIRO YONEZAWA do(a) Departamento de Computação / Faculdade de Ciências - UNESP/Bauru, Prof. Dr. MARCELO MAIA CIRINO do(a) Departamento de Química / Universidade Estadual de Londrina, Prof. Dr. NELSON HENRIQUE MORGON do(a) Departamento de Físico Química - Instituto de Química / Universidade Estadual de Campinas, Profa. Dra. NEIDE MARIA MICHELLAN KIOURANIS do(a) Departamento de Química / Universidade Estadual de Maringá, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da TESE DE DOUTORADO de MÁRCIA CAMILO FIGUEIREDO, intitulada **APLICAÇÃO DE UM JOGO DIGITAL E ANÁLISE DE CONCEITOS DA TEORIA CINÉTICA DOS GASES**. Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADA. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. AGUINALDO ROBINSON DE SOUZA

Prof. Dr. WILSON MASSASHIRO YONEZAWA

Prof. Dr. MARCELO MAIA CIRINO

Prof. Dr. NELSON HENRIQUE MORGON

Prof. Dra. NEIDE MARIA MICHELLAN KIOURANIS

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Aguinaldo Robinson de Souza, por ter compartilhado e ensinado seus conhecimentos para o desenvolvimento do doutorado; pela confiança, paciência e dedicação em me orientar e fazer deste trabalho um crescimento pessoal e profissional para minha vida.

Aos professores doutores Marcelo Maia Cirino (UEL) e Wilson Massashiro Yonezawa (UNESP), por terem contribuído significativamente na banca de qualificação com sugestões, discussões e comentários importantes para a finalização da pesquisa.

Aos professores doutores, Wilson Massashiro Yonezawa, Marcelo Maia Cirino, Neide Maria Michellan Kiouranis, Nelson Henrique Morgon, por aceitar o convite de membros da banca de defesa de tese.

Ao colega Gustavo Martins Alves de Almeida, pela construção e disponibilização do jogo cinética química utilizado no desenvolvimento da pesquisa.

Aos professores, técnicos e colegas do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, da Faculdade de Ciências, da Universidade Estadual Paulista, UNESP, campus de Bauru, SP, pela convivência, ensinamentos e construção do conhecimento. Em especial, à técnica Denise Barbosa Felipe, pela sua presteza.

À equipe da biblioteca central da UNESP, campus Bauru, em especial ao Breno e Sérgio, pela atenção e acolhida nos momentos de verificações de normas para o trabalho.

Aos colegas do Departamento Acadêmico de Química - DAQUI da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Londrina, pelo afastamento de dois anos para finalização do trabalho de tese.

Aos alunos do curso de licenciatura em Química, UTFPR, câmpus Londrina, pela participação e contribuições para a conclusão dessa pesquisa.

À Fundação Araucária, pelo auxílio financeiro concedido no final de conclusão da pesquisa.

Aos familiares e amigos (as), que me apoiaram e torceram por mim: sogra, sogro, cunhadas, cunhados, tias, tios, primas, primos, sobrinhos, avô e avó.

Ao meu esposo, José Ramos de Figueiredo Junior, por seu apoio incondicional e fundamental para a conclusão desse trabalho.

Aos meus filhos, Ramon e Maria Elena, por seus sinceros carinhos tão necessários para aliviar essa caminhada; minhas inspirações...

Aos meus pais, Dorival e Lucy, pessoas fundamentais da minha vida, agradeço pelo apoio e cuidados, por todo amor e carinho, por entender e apoiar cada nova decisão, por estarem sempre presentes (vencendo a distância). Aos meus irmãos, Marcos, Magda e Marcelo.

Enfim, a todos os que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão desta pesquisa!

*Ora, se a inteligência fosse inata... saberia agora, fazer qualquer coisa... inclusive as coisas
que ainda vai inventar!*
Lauro de Oliveira Lima (1980)

RESUMO

Esta pesquisa objetivou investigar se licenciandos em química enunciam e compreendem os conceitos de aleatoriedade e irreversibilidade, presentes na Teoria Cinética dos Gases, por meio de etapas construídas para um jogo digital e da sua aplicação após finalizado. Participaram da pesquisa vinte e um acadêmicos do curso de licenciatura em química de uma universidade tecnológica federal no Paraná, separados em: grupo 01, 02 e 03. Para a coleta de dados, cada grupo, em determinados momentos, respondeu questionários, elaborou desenhos e participou de entrevistas semiestruturadas. O desenvolvimento da pesquisa foi orientado pela abordagem qualitativa e por alguns estudos realizados por Piaget. Para tratar e analisar os dados, optamos pelos princípios da análise de conteúdo. A partir do conteúdo dos desenhos construídos nas etapas do jogo digital, foi possível constatar que, os participantes do grupo 01 e 02 buscaram ilustrar em alguma etapa do jogo, uma aproximação de distribuição homogênea do sistema. Nos desenhos dos níveis, verificamos que a maioria (quatorze) dos participantes levou em consideração as experiências obtidas durante o jogo, porque mudaram a maneira de prever em algum nível, as trajetórias de partículas no sistema; dentre os vinte e um sujeitos, apenas oito ilustraram nos quatro níveis do jogo, as primeiras previsões de colisões do lado esquerdo, alcançando o padrão de análise estabelecido. No conteúdo obtido nos discursos dos participantes, referente ao conceito de irreversibilidade, foi possível verificar que este conhecimento não está bem construído nas estruturas cognitivas dos participantes do grupo 01 e 02, porque cinco apresentaram discurso não elucidativo nas quatro etapas do jogo e dois não souberam elucidar o conceito investigado em três etapas. Com relação ao conceito de aleatoriedade, verificamos que os participantes utilizaram palavras diferentes em cada contexto de aplicação das etapas e dos níveis do jogo digital, apresentando distintos discursos, como de gênero científico, próximo do gênero científico, de senso comum, não elucidativo e elucidativo ao jogo. Depreende-se que os recursos didáticos digitais utilizados podem proporcionar aos estudantes compreenderem e apreenderem conteúdos de caráter microscópico e submicroscópico. Portanto, as etapas e os níveis do jogo digital poderão contribuir para que os sujeitos apreendam cientificamente os conceitos da teoria cinética dos gases, como também em outras áreas do conhecimento.

Palavras-chave: Aleatoriedade, irreversibilidade, trajetórias de partículas, colisões de partículas, simulação computacional, ensino de Química.

ABSTRACT

This research aimed to investigate whether licentiate in chemistry enunciate and understand the concepts of randomness and irreversibility present in Kinetic Theory of Gases, through the construction of steps of a digital game and its application after finalized. The participants were twenty-one academics in chemistry degree course of a federal technological university in Paraná, separated into: Group 01, 02 and 03. For the collection of data, each group, at certain times, answered questionnaires, prepared drawings and participated in semi-structured interviews. The development of the research was guided by a qualitative approach and some studies conducted by trough the ideas of Piaget. To process and analyze the data, we chose the principles of content analysis. From the content of the drawings built on the steps of digital game, it was found that the participants of group 01 and 02 sought to illustrate in some stage of the game, a homogeneous distribution approach of the system. In the drawings levels, we found that the majority (fourteen) of the participants took into account the experiences gained during the game because it changed the way to predict to some degree, the particle trajectories in the system; among the twenty-one subjects, only eight illustrated in the four levels of the game, the first predictions of collisions on the left side, reaching the established pattern analysis. The content obtained in the speeches of the participants, referring to the concept of irreversibility, it was found that this knowledge is not well built in cognitive structures of group members 01 and 02, because five had not been elucidated speech in the four stages of the game and two did not know how to elucidate the concept investigated in the three steps. Regarding the concept of randomness, we found that participants used different words in each application context of the stages and the digital game levels, with different speeches, as scientific genre, close to the scientific genus, common sense, not enlightening and instructive the game. It appears that digital teaching resources used can provide students understand and grasp microscopic and submicroscopic character content. Therefore, the steps and levels of the digital game can contribute to the subject scientifically seize the concepts of kinetic theory of gases, as well as in other areas of knowledge.

Keywords: Randomness, irreversibility, particle trajectories, particle collisions, computer simulation, chemistry teaching.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Distribuição de moléculas de um gás ideal num recipiente de volume V.....	29
Figura 02: Caixa retangular com 8 esferas vermelhas e 8 brancas.....	58
Figura 03: Caixa composta por um funil e divisórias.....	59
Figura 04: Prancheta quadrada recoberta por um papel dividido em setores coloridos.....	61
Figura 05: Telas das quatro simulações disponíveis no jogo em seus estados iniciais.....	95
Figura 06: Folhas para desenhar os níveis 1, 2, 3, 4 e 5 do jogo digital.....	96
Figura 07: Tela do nível 1 do jogo digital.....	97
Figura 08: Tela do nível 2 do jogo digital.....	98
Figura 09: Tela do nível 3 do jogo digital.....	98
Figura 10: Tela do nível 4 do jogo digital.....	99
Figura 11: Tela do nível 5 do jogo digital.....	99
Figura 12: Etapa 1A: número de partículas nos quadrantes (tempo entre 10 e 60 segundos).	112
Figura 13: Etapa 1A: número de partículas nos quadrantes (tempo entre 120 e 420 segundos)	113
Figura 14: Etapa 1A: número de partículas nos quadrantes (tempo entre 480 e 780 segundos)	114
Figura 15: Etapa 1B: número de partículas nos quadrantes (tempo entre 10 e 60 segundos).	116
Figura 16: Etapa 1B: número de partículas nos quadrantes (tempo entre 120 e 420 segundos)	117
Figura 17: Etapa 1B: número de partículas nos quadrantes (tempo entre 480 e 780 segundos)	118
Figura 18: Etapa 1B: número de partículas nos quadrantes (tempo entre 10 e 60 segundos).	120
Figura 19: Etapa 1C: número de partículas nos quadrantes (tempo entre 120 e 420 segundos)	121
Figura 20: Etapa 1C: número de partículas nos quadrantes (tempo entre 480 e 780 segundos)	122
Figura 21: Etapa 1D: número de partículas nos quadrantes (tempo entre 10 e 60 segundos).	124
Figura 22: Etapa 1D: número de partículas nos quadrantes (tempo entre 120 e 420 segundos)	125
Figura 23: Etapa 1D: número de partículas nos quadrantes (tempo entre 480 e 780 segundos)	126
Figura 24: Colisões da partícula vermelha e azul.....	138
Figura 25: Diagrama de aprendizado em um jogo de tênis.....	295

LISTA DE DESENHOS

Desenho 01: Previsões de trajetórias de partículas de L1G ₁ (etapas do jogo digital)	149
Desenho 02: Previsões de trajetórias de partículas de L2G ₁ (etapas do jogo digital)	151
Desenho 03: Previsões de trajetórias de partículas de L3G ₁ (etapas do jogo digital)	153
Desenho 04: Previsões de trajetórias de partículas de L4G ₁ (etapas do jogo digital)	155
Desenho 05: Previsões de trajetórias de partículas de L5G ₁ (etapas do jogo digital)	157
Desenho 06: Previsões de trajetórias de partículas de L6G ₁ (etapas do jogo digital)	159
Desenho 07: Previsões de trajetórias de partículas de L7G ₁ (etapas do jogo digital)	161
Desenho 08: Previsões de trajetórias de partículas de L8G ₂ (etapas do jogo digital)	164
Desenho 09: Previsões de trajetórias de partículas de L9G ₂ (etapas do jogo digital)	167
Desenho 10: Previsões de trajetórias de partículas de L10G ₂ (etapas do jogo digital)	169
Desenho 11: Previsões de trajetórias de partículas de L11G ₂ (etapas do jogo digital)	171
Desenho 12: Previsões de trajetórias de partículas de L12G ₂ (etapas do jogo digital)	174
Desenho 13: Previsões de trajetórias de partículas de L13G ₂ (etapas do jogo digital)	176
Desenho 14: Previsões de trajetórias de partículas de L1G ₁	238
Desenho 15: Previsões de trajetórias de partículas de L2G ₁	241
Desenho 16: Previsões de trajetórias de partículas de L3G ₁	243
Desenho 17: Previsões de trajetórias de partículas de L4G ₁	246
Desenho 18: Previsões de trajetórias de partículas de L5G ₁	248
Desenho 19: Previsões de trajetórias de partículas de L6G ₁	250
Desenho 20: Previsões de trajetórias de partículas de L7G ₁	253
Desenho 21: Previsões de trajetórias de partículas de L8G ₂	255
Desenho 22: Previsões de trajetórias de partículas de L9G ₂	258
Desenho 23: Previsões de trajetórias de partículas de L10G ₂	260
Desenho 24: Previsões de trajetórias de partículas de L11G ₂	262
Desenho 25: Previsões de trajetórias de partículas de L12G ₂	264
Desenho 26: Previsões de trajetórias de partículas de L13G ₂	267
Desenho 27: Previsões de trajetórias de partículas de L14G ₂	270
Desenho 28: Previsões de trajetórias de partículas de L15G ₃	273
Desenho 29: Previsões de trajetórias de partículas de L16G ₃	276
Desenho 30: Previsões de trajetórias de partículas de L17G ₃	278
Desenho 31: Previsões de trajetórias de partículas de L18G ₃	281
Desenho 32: Previsões de trajetórias de partículas de L19G ₃	283
Desenho 33: Previsões de trajetórias de partículas de L20G ₃	285
Desenho 34: Previsões de trajetórias de partículas de L21G ₃	288

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Características formais do jogo.....	74
Quadro 02: Razões pelas as quais pessoas preferem os jogos digitais.....	79
Quadro 03: Princípios da aprendizagem baseada em jogos digitais.....	81
Quadro 04: Conceitos análogos presentes no jogo e seus respectivos conceitos alvos teóricos.....	89
Quadro 05: Duração das entrevistas semiestruturadas com os participantes.....	100
Quadro 06: Etapa 1A: média do número de partículas obtidas a partir da figura 12.....	112
Quadro 07: Etapa 1A: média do número de partículas obtidas a partir da figura 13.....	113
Quadro 08: Etapa 1A: média do número de partículas obtidas a partir da figura 14.....	114
Quadro 09: Etapa 1B: média do número de partículas obtidas a partir da figura 15.....	116
Quadro 10: Etapa 1B: média do número de partículas obtidas a partir da figura 16.....	117
Quadro 11: Etapa 1B: média do número de partículas obtidas a partir da figura 17.....	118
Quadro 12: Etapa 1C: média do número de partículas obtidas a partir da figura 18.....	120
Quadro 13: Etapa 1C: média do número de partículas obtidas a partir da figura 19.....	121
Quadro 14: Etapa 1C: média do número de partículas obtidas a partir da figura 20.....	122
Quadro 15: Etapa 1D: média do número de partículas obtidas a partir da figura 21.....	124
Quadro 16: Etapa 1D: média do número de partículas obtidas a partir da figura 22.....	125
Quadro 17: Etapa 1D: média do número de partículas obtidas a partir da figura 23.....	126
Quadro 18: Conceito de irreversibilidade: categoria, subcategorias e número de unidades de registro (etapas)	129
Quadro 19: Conceito de irreversibilidade: categoria, subcategorias e unidades de registro (etapas)	130
Quadro 20: Conceito de aleatoriedade: categoria, subcategorias e número de unidades de registro (etapas)	132
Quadro 21: Conceito de aleatoriedade: categoria, subcategorias e número de unidades de registro (jogo digital).....	133
Quadro 22: Grupo 01- categoria, subcategorias e unidades de registro (etapas e níveis do jogo digital).....	134
Quadro 23: Grupo 02 - categoria, subcategorias e unidades de unidades (etapas e níveis do jogo digital)	135
Quadro 24: Grupo 03 - categoria, subcategorias e unidades de registro (níveis do jogo digital)	136
Quadro 25: Conceito de aleatoriedade: imprevisibilidade de trajetórias de partículas, categoria, subcategorias e número de unidades de registro (níveis)	140
Quadro 26: Conceito de aleatoriedade: imprevisibilidade de trajetórias de partículas, categoria, subcategorias e unidades de registro (níveis)	141
Quadro 27: Participantes da pesquisa, idade, gênero.....	144
Quadro 28: Período de estudo da Teoria Cinética dos Gases.....	145
Quadro 29: Grupo 01: Categoria, subcategorias e unidades de registro (etapas do jogo digital)	180
Quadro 30: Grupo 02: Categoria, subcategorias e unidades de registro (etapas do jogo digital)	185
Quadro 31: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L1G ₁	191
Quadro 32: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L2G ₁	194
Quadro 33: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L3G ₁	197
Quadro 34: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L4G ₁	200
Quadro 35: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L5G ₁	204

Quadro 36: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L6G ₁	206
Quadro 37: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L3G ₁	210
Quadro 38: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L8G ₂	213
Quadro 39: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L9G ₂	216
Quadro 40: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L10G ₂	219
Quadro 41: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L11G ₂	221
Quadro 42: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L12G ₂	223
Quadro 43: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L13G ₂	225
Quadro 44: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L14G ₃	229
Quadro 45: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L15G ₃	230
Quadro 46: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L16G ₃	232
Quadro 47: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L17G ₃	233
Quadro 48: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L18G ₃	233
Quadro 49: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L19G ₃	234
Quadro 50: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L20G ₃	235
Quadro 51: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L21G ₃	236
Quadro 52: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L1G ₁	239
Quadro 53: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L2G ₁	242
Quadro 54: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L3G ₁	244
Quadro 55: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L4G ₁	247
Quadro 56: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L5G ₁	249
Quadro 57: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L6G ₁	251
Quadro 58: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L7G ₁	254
Quadro 59: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L8G ₂	256
Quadro 60: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L9G ₂	259
Quadro 61: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L10G ₂	261
Quadro 62: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L11G ₂	263
Quadro 63: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L12G ₂	265
Quadro 64: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L13G ₂	268
Quadro 65: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L14G ₃	271
Quadro 66: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L15G ₃	274
Quadro 67: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L16G ₃	277
Quadro 68: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L17G ₃	279
Quadro 69: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L18G ₃	282
Quadro 70: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L19G ₃	284
Quadro 71: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L20G ₃	286
Quadro 72: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L21G ₃	289

LISTA DE PADRÕES

Padrão 01: Etapa 1A: número de partículas nos quadrantes.....	115
Padrão 02: Etapa 1B: número de partículas nos quadrantes.....	119
Padrão 03: Etapa 1C: número de partículas nos quadrantes.....	123
Padrão 04: Etapa 1D: número de partículas nos quadrantes.....	127
Padrão 05: Número de colisões efetuados nos níveis do jogo digital.....	139

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01: Desempenho dos licenciando nos níveis do jogo digital.....	296
Gráfico 02: Desempenho de L1G ₁ nos níveis do jogo digital.....	297

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	OBJETIVOS	19
1.2	QUESTÃO-PROBLEMA DE PESQUISA	20
1.3	QUESTÕES-PROBLEMAS DE PESQUISA	20
2	TEORIA CINÉTICA DOS GASES.....	21
2.1	O PRINCÍPIO DA TEORIA CINÉTICA DOS GASES	22
2.2	TRABALHOS DE JAMES CLERK MAXWELL	28
2.3	TRABALHOS DE LUDWIG EDUARD BOLTZMANN	34
3	A EPISTEMOLOGIA GENÉTICA DE JEAN PIAGET.....	43
3.1	A EPISTEMOLOGIA GENÉTICA DE PIAGET	43
3.1.1	A inteligência segundo Jean Piaget	47
3.1.2	Os estágios do desenvolvimento das estruturas da inteligência	51
3.2	A ORIGEM DA IDEIA DO ACASO NA CRIANÇA	57
4	JOGO.....	73
4.1	O CONCEITO DE JOGO.....	73
4.2	O CONCEITO DE JOGO DIGITAL.....	77
4.3	A APRENDIZAGEM BASEADA EM JOGOS DIGITAIS	80
5	METODOLOGIA	83
5.1	OS PARTICIPANTES DA PESQUISA E O LOCAL	86
5.2	A COLETA DE DADOS.....	87
5.2.1	Jogo digital: cinética dos gases	88
5.3	DESCRIÇÃO DA COLETA DE DADOS - GRUPO 01	90
5.4	DESCRIÇÃO DA COLETA DE DADOS - GRUPO 02	93
5.5	DESCRIÇÃO DA COLETA DE DADOS - GRUPO 03	93
5.6	DESCRIÇÃO DA COLETA DE DADOS DAS ETAPAS DO JOGO	94
5.7	DESCRIÇÃO DA COLETA DE DADOS DOS NÍVEIS DO JOGO DIGITAL	96
5.8	PROCEDIMENTOS DE TRATAMENTO DOS DADOS PARA ANÁLISE	101
5.9	A ANÁLISE DE CONTEÚDO	101
5.9.1	A organização da análise de conteúdo	105
5.9.2	A Construção do Padrão de análise para desenhos (Etapas 1A, 1B, 1C, 1D).....	110
5.9.3	Categoria: conceito de irreversibilidade (Etapas do jogo digital)	128
5.9.5	Conceito de aleatoriedade: imprevisibilidade de trajetórias de partículas (níveis do jogo digital).....	137
6	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	143

6.1	QUESTIONÁRIO - PARTICIPANTE DA PESQUISA	143
6.2	CONCEITO DE ALEATORIEDADE: ANÁLISE DOS DESENHOS (ETAPAS DO JOGO DIGITAL).....	147
6.2.1	Participantes do grupo 01	148
6.2.2	Participantes do grupo 02	163
6.3	CONCEITO DE IRREVERSIBILIDADE: ANÁLISE DAS ENTREVISTAS (ETAPAS DO JOGO DIGITAL)	179
6.3.1	Grupo 01: Conceito de irreversibilidade – etapas do jogo digital	179
6.3.2	Grupo 02: Conceito de irreversibilidade – etapas do jogo digital	184
6.4	CONCEITO DE ALEATORIEDADE: ANÁLISE DAS ENTREVISTAS (ETAPAS E NÍVEIS DO JOGO DIGITAL)	190
6.4.1	Grupo 01: Conceito de aleatoriedade – etapas e níveis do jogo digital	191
6.4.2	Grupo 02: Conceito de aleatoriedade – etapas e níveis do jogo digital	213
6.4.2	Grupo 03: Conceito de aleatoriedade – níveis do jogo digital	229
6.5	CONCEITO DE ALEATORIEDADE: IMPREVISIBILIDADE DE TRAJETÓRIAS DE PARTÍCULAS - ANÁLISE DOS DESENHOS E ENTREVISTAS (NÍVEIS DO JOGO DIGITAL)	237
6.5.1	Participante L1G₁	238
6.5.2	Participante L2G₁	240
6.5.3	Participante L3G₁	243
6.5.4	Participante L4G₁	245
6.5.5	Participante L5G₁	248
6.5.6	Participante L6G₁	250
6.5.7	Participante L7G₁	252
6.5.8	Participante L8G₂	255
6.5.9	Participante L9G₂	257
6.5.10	Participante L10G₂	259
6.5.11	Participante L11G₂	261
6.5.12	Participante L12G₂	264
6.5.13	Participante L13G₂	266
6.5.14	Participante L14G₃	269
6.5.15	Participante L15G₃	272
6.5.16	Participante L16G₃	275
6.5.17	Participante L17G₃	278
6.5.18	Participante L18G₃	280
6.5.19	Participante L19G₃	283

6.5.20	Participante L20G₃	285
6.5.21	Participante L21G₃	287
7	CONCLUSÃO	291
	PERSPECTIVAS PARA UM FUTURO PROJETO DE PESQUISA	295
	REFERÊNCIAS	298
	APÊNDICE 01	304
	APÊNDICE 02	305
	APÊNDICE 03	307
	APÊNDICE 04	309
	APÊNDICE 05	311
	APÊNDICE 06	313
	APÊNDICE 07	315
	APÊNDICE 08	318
	APÊNDICE 09	320

1 INTRODUÇÃO

A compreensão e aprendizagem de muitos fenômenos químicos relacionados ao nível submicroscópico requerem das pessoas um pensamento mais elaborado e com raciocínios abstratos. Com base em Piaget, esta aquisição é alcançada no último estágio do desenvolvimento das estruturas da inteligência, denominada de operatório formal.

Para a epistemologia genética de Jean Piaget, o indivíduo na idade adulta opera no estágio formal, alcançando o seu último nível de desenvolvimento das estruturas da inteligência. Ou seja, é capaz de pensar em todas as relações lógicas possíveis em busca de soluções a partir de hipóteses, e não mais apenas pela observação da realidade.

No entanto, mesmo os sujeitos que tenham alcançado o estágio formal podem apresentar dificuldades para apreender conteúdos de nível submicroscópico abordados na disciplina de química. Esse fato se confirma quando nos deparamos com uma ampla literatura bibliográfica preocupada em sanar esta questão. Por exemplo: ensino construtivista que visa romper com o ensino tradicional, avaliação aplicada aos estudantes, preocupação em formar o cidadão crítico, abordagem de temas sociais durante o ensino seja em forma de oficinas, minicursos, sequências didáticas, palestras, projetos, situações de estudo e tantos outros temas disponíveis.

No cenário tecnológico, sugerimos como alternativa a utilização adequada de jogos digitais, uma vez que podem auxiliar durante o ensino os estudantes a visualizar, pensar, refletir, levantar hipóteses e, conseqüentemente, a apreender conceitos químicos de nível submicroscópico. No entanto ainda é muito precária, na literatura científica do Brasil, a utilização de jogos digitais para o ensino de química.

Gee (2007) descreve que a aprendizagem baseada em bons jogos digitais proporciona ao jogador atitudes e sensações, como: analisar e levantar hipóteses, autonomia, fantasia, riscos, engajamento, desafios, conseqüências de escolhas, pensamento centrado, resolução de problemas, tempo disponível.

Acreditamos que os jogos digitais, ao serem utilizados como um recurso tecnológico didático-pedagógico no ensino, podem favorecer aos alunos o desenvolvimento de tais atitudes para, assim, efetivar a aprendizagem. Para isso, é preciso investir na construção de jogos digitais e inseri-los na prática, seja na disciplina de Química, Física, Matemática, Geografia, Ciências, ou qualquer outra na área do saber.

Nesse contexto, sabemos que, para compreender muitos conhecimentos científicos da química, é preciso que o sujeito tenha alcançado o último estágio do desenvolvimento das

estruturas da inteligência, o estágio formal, estando apto a questionar e analisar hipóteses, fantasiar e abstrair e a raciocinar logicamente.

Na disciplina de Química, os conteúdos que dizem respeito ao estado gasoso da matéria são um exemplo clássico no qual se exige que o sujeito opere no estágio formal. Por exemplo: Como apreender as razões que levam um gás a se expandir quando aquecido a pressão constante? Por que a pressão do gás aumenta quando ele é comprimido a uma temperatura constante? Por que na água quente a bexiga enche e na água fria ela murcha?

A Teoria Cinética dos Gases (TCG) contribui para compreender essas questões e também a apreendemos a respeito do que acontece com as partículas de um gás em nível molecular. O desenvolvimento da TCG foi iniciado com o objetivo de entender como os fatos encontrados na natureza se comportavam microscopicamente, pois esta, sendo de caráter microscópico, baseada na Mecânica de Newton, não poderia descrever fenômenos e processos termodinâmicos irreversíveis (CARUSO, OGURI, 2006).

Na atualidade, sabemos que “[...] a maioria dos processos que observamos na natureza ao nosso redor são unidirecionais ou assimétricos no tempo. Eles apresentam uma flecha do tempo: legumes cozidos não podem ser desconzidos, um ovo quebrado não pode ser juntado novamente” (LEBOWITZ, 2006, p. 267-268). Esses processos são irreversíveis. Exemplos reais e concretos do cotidiano podem ser observados macroscopicamente por qualquer pessoa.

Mas, como entender e explicar cientificamente o modo submicroscópico de conteúdos abordados na Teoria Cinética dos Gases? As respostas para esta questão não são triviais, uma vez que o seu caráter abstrato requer do sujeito o último estágio de desenvolvimento das estruturas cognitivas, o estágio formal; caso contrário, será difícil apreender cientificamente esta teoria.

Diante dessa preocupação, a pesquisa objetivou investigar se licenciandos em química enunciam e compreendem os conceitos de aleatoriedade e irreversibilidade, presentes na Teoria Cinética dos Gases, por meio de etapas construídas para um jogo digital e da sua aplicação após finalizado. A fim de alcançar tal objetivo, buscamos responder o problema central do trabalho: A utilização de etapas construídas para um jogo digital e a sua aplicação após finalizado contribuem para que licenciandos em química enunciem e elaborem cientificamente os conceitos de aleatoriedade e irreversibilidade presentes na Teoria Cinética dos Gases?

Tendo isso em vista, abordamos o assunto da Teoria Cinética dos Gases (TCG) no segundo capítulo, descrevendo alguns momentos que culminaram com o seu princípio, evidenciando, de acordo com a literatura científica revisitada, os principais trabalhos desenvolvidos por cientistas, como James Clerk Maxwell e Ludwig Eduard Boltzmann.

No terceiro capítulo, redigimos algumas informações a respeito da vida e obra de Jean William Fritz Piaget, as quais contribuíram para o desenvolvimento da epistemologia genética, bem como a sua visão a respeito da inteligência e dos estágios do desenvolvimento das estruturas da inteligência. Apresentamos também um trabalho que nos apoiou para desenvolver esta pesquisa, organizado no livro “*A origem da ideia do acaso na criança*” de Piaget e Inhelder (1951).

No quarto capítulo, descrevemos o conceito de jogo, para, em seguida, elucidar o conceito de jogo digital, uma vez que o mundo tecnológico e digital tem proporcionado cada vez mais a sua inserção na vida das pessoas. Para finalizar, discorremos o item em torno da aprendizagem baseada em jogos digitais.

No quinto capítulo, elucidamos os pressupostos teóricos da metodologia utilizada na pesquisa, especificando os participantes, o local e a coleta de dados. Após esse momento, organizamos a análise e estruturação dos dados obtidos.

No sexto capítulo, redigimos os resultados obtidos na coleta de dados, confrontando-os com o nosso referencial teórico, ou seja, discutimos os conhecimentos apresentados pelos licenciandos a respeito dos conceitos científicos de aleatoriedade e irreversibilidade presentes na teoria cinética dos gases, durante o contexto das etapas construídas e da aplicação do jogo digital finalizado. Em seguida, apresentamos algumas perspectivas futuras emergidas no decorrer da pesquisa, como o desempenho de cada participante durante os níveis do jogo digital.

No sétimo capítulo, tecemos nossas conclusões a respeito das questões investigadas, refletindo sobre a potencialidade do emprego de jogos digitais, no sentido de contribuir para o ensino e a aprendizagem de conhecimentos científicos.

1.1 OBJETIVOS

A pesquisa objetivou investigar se licenciandos em química enunciam e compreendem os conceitos de aleatoriedade e irreversibilidade, presentes na Teoria Cinética dos Gases, por meio de etapas construídas para um jogo digital e da sua aplicação após finalizado.

Em razão desse objetivo, apresentamos a questão-problema da pesquisa.

1.2 QUESTÃO-PROBLEMA DE PESQUISA

A utilização de etapas construídas para um jogo digital e a sua aplicação após finalizado contribuem para que licenciandos em química enunciem e elaborem cientificamente os conceitos de aleatoriedade e irreversibilidade presentes na Teoria Cinética dos Gases?

A questão norteadora, subdivide-se em sete questões de pesquisa fundamentais.

1.3 QUESTÕES-PROBLEMAS DE PESQUISA

- 1) Os (as) participantes conseguem ilustrar em desenho, enunciar e compreender o conceito de aleatoriedade presente na Teoria Cinética dos Gases, durante o contexto proposto nas etapas construídas para um jogo digital?
- 2) Os (as) participantes conseguem enunciar e compreender o conceito de irreversibilidade presente na Teoria Cinética dos Gases, durante o contexto proposto nas etapas construídas para um jogo digital?
- 3) Os (as) participantes conseguem enunciar e compreender o conceito de aleatoriedade presente na Teoria Cinética dos Gases, durante o contexto proposto nas etapas e nos níveis do jogo digital?
- 4) Os (as) participantes levam em consideração os momentos vivenciados nas etapas para enunciar e compreender o conceito de aleatoriedade durante os níveis do jogo digital?
- 5) Como o (a) jogador (a) prevê nos desenhos, as trajetórias de partículas no contexto proposto em cada nível do jogo digital?
- 6) O contexto proposto nos níveis do jogo digital proporciona aos participantes compreenderem a imprevisibilidade de trajetórias de partículas?
- 7) Qual grupo de participantes enuncia o conceito de aleatoriedade e irreversibilidade mais próximo do cientificamente aceito?

Na sequência, é reportado o contexto da Teoria Cinética dos Gases, como parte do referencial teórico desta pesquisa.

2 TEORIA CINÉTICA DOS GASES

A Teoria Cinética dos Gases (TCG) teve a sua origem a partir da ideia antiga de que a matéria consiste de minúsculos átomos invisíveis em movimento rápido. No século XVII, essa ideia foi retomada e empregada para explicar as propriedades dos gases, como também de outros fenômenos (BRUSH, 2004).

Hoje, sabe-se que a TCG “[...] tem por base a hipótese de que a matéria, em qualquer estado físico, deve ser constituída de moléculas [...]” (CARUSO; OGURI, 2006, p. 66). Assim, as evidências obtidas pela química elucidaram “[...] que o número de partículas (moléculas ou átomos) em um volume de gás é enorme e seria impraticável descrever o estado do gás especificando-se a posição e a velocidade de cada uma de suas partículas [...]” (CARUSO; OGURI, 2006, p. 66).

Um longo período foi percorrido por vários cientistas, cada qual contribuindo com o seu entendimento em determinados conhecimentos, os quais proporcionaram os postulados básicos que constituem a Teoria Cinética dos Gases. Os denominados postulados e/ou hipóteses foram constituídos segundo o modelo mecânico de um gás ideal e suas descrições referem que:

- um gás é formado por um grande número de partículas eletricamente neutras – as *moléculas*, em constante movimento;
- a direção em que uma molécula se move é *aleatória*, ou seja, *não* há direção privilegiada para seus deslocamentos;
- tanto o choque de moléculas contra moléculas quanto o de moléculas contra as paredes do recipiente que contém o gás são considerados perfeitamente *elásticos* e obedecem às leis de Newton;
- os efeitos das forças intermoleculares são desprezados, de modo que, entre as colisões, as moléculas se movem livremente em linhas retas;
- o diâmetro de uma molécula é desprezível em relação às distâncias percorridas entre colisões;
- a duração dos choques é muito pequena em relação ao tempo que as moléculas se movem livremente (CARUSO; OGURI, 2006, p. 67, grifo do autor).

Os gases são constituídos por um grande número de partículas (moléculas ou átomos) minúsculas de matéria; dentro de um recipiente gasoso, as suas trajetórias são retilíneas, com movimento completamente aleatório.

Neste capítulo, apresentamos “[...] os conceitos de aleatoriedade e irreversibilidade e suas interações no desenvolvimento da teoria cinética dos gases antes de 1900” (BRUSH, 1974, p. 2, tradução nossa). Sem o objetivo de levantar um denso aporte histórico sobre o tema, evidenciamos alguns cientistas e fatos presentes e citados na literatura científica revisitada, os quais contribuíram para o desenvolvimento da TCG.

Primeiramente, abordamos o princípio da teoria cinética dos gases, relatando as contribuições de alguns cientistas da época que conseqüentemente proporcionaram o desenrolar do próximo item e alguns trabalhos de Maxwell em colaboração com vários cientistas. Para finalizar, concluímos com um quadro geral dos trabalhos de Ludwig Eduard Boltzmann.

2.1 O PRINCÍPIO DA TEORIA CINÉTICA DOS GASES

Alguns conhecimentos contribuíram para a constituição da teoria cinética dos gases; eles também são ensinados nas ciências/química. Por exemplo, em 1662, o químico e físico britânico Robert Boyle (1627-1691) mostrou que o ar é “elástico”, ou seja, ele resiste à compressão e expande para preencher o espaço disponível (BRUSH, 2004).

Segundo Brush (2004), Boyle mencionou duas hipóteses atomísticas alternativas para a pressão do ar: primeiro, o ar é composto de partículas que se repelem, como peças enroladas de lã ou de molas; segundo, o ar é composto de partículas rodopiantes que se afastam umas das outras por impactos.

Isaac Newton retomou a primeira hipótese de Boyle “[...] que provou matematicamente que, se a pressão do ar é devido à repulsão de partículas vizinhas, então a força de repulsão deve ser inversamente proporcional às suas distâncias” (BRUSH, 2004, p. 2, tradução nossa). Assim:

The second hypothesis, which Boyle associated with Descartes' etherial vortices, lacked a quantitative foundation in the 17th century, though it gained qualitative support from the common idea that heat is related to atomic motion and the observation that air pressure increases with temperature (BRUSH, 2004, p. 2).

Para tanto, a Lei de Boyle é reproduzida em livros de química, seja no ensino básico ou superior, a partir da seguinte definição: para uma quantidade fixa de gás (n) mantido a uma temperatura (T) constante, o volume (V) é inversamente proporcional à pressão (P), resultando em $PV = K$ (K é uma constante), ou seja, $PV = \text{constante}$ (com n e T constantes) (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005; ATKINS; JONES, 2012).

Em 1738, têm-se os primeiros passos para a constituição da TCG, com a publicação do livro Hidrodinâmica, sendo apresentada uma teoria cinética quantitativa sobre hidrodinâmica pelo autor suíço, físico matemático, Daniel Bernoulli (ROCHA, 2011; BRUSH, 2004).

Bernoulli, “[...] derivou as leis de Boyle para a pressão do gás pelo cálculo da força exercida sobre um êmbolo móvel pelos impactos de n partículas movendo-se com velocidade v , em um espaço fechado e volume total V ” (BRUSH, 2004, p. 2, tradução nossa). Portanto, “se V for menor, a pressão será maior, porque as partículas chegam ao pistão mais

frequentemente. Se o espaço ocupado pelas próprias partículas é pequeno comparado com o volume V , a pressão P deve ser inversamente proporcional a V [...]” (BRUSH, 2004, p. 2, tradução nossa); confirmando-se assim a lei de Boyle.

A teoria de Bernoulli introduziu a ideia de que o calor ou a temperatura poderiam ser identificados com a energia cinética das partículas em um gás ideal; outros cientistas ainda não tinham aceitado o conceito de uma escala de temperatura absoluta (BRUSH, 2004). “No trabalho de Bernoulli é apontado que a pressão macroscópica poderia ser interpretada pelo choque das moléculas do gás nas paredes do recipiente, e também que a temperatura deveria estar relacionada com o estado de movimento do gás” (ROCHA, 2011, p. 163).

Após um século, com o estabelecimento da lei de Boyle, em 1662, dois cientistas franceses, Jacques Charles e Joseph Louis Gay-Lussac, em 1787, descobriram a relação entre V de gás e T por meio de experiências com balões; eles descobriram como a T de um gás pode afetar a P , V e a *densidade* (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005; ATKINS; JONES, 2012).

A combinação dessas relações resultou na equação de estado para o gás ideal, $PV = nRT$, em que n representa a quantidade de gás, T a temperatura e R a constante universal. “But it was not yet known whether the equation would be valid down to temperatures so low that $(t + 273)$ is zero, or whether all gases would condense before that point of "absolute cold" is reached so the equation would no longer apply” (BRUSH, 2004, p. 3). O autor expõe:

The kinetic theory was not widely accepted in the 18th century; most scientists preferred the Newtonian repulsion theory, which was compatible with the idea that heat is a fluid, "caloric," rather than the energy of atomic motion. Caloric was sometimes thought to be composed of particles that repel each other and are attracted to the atoms of ordinary matter. Thus gas pressure increases with temperature because the gas acquires more of the self-repelling caloric fluid. Temperature itself could be defined as the density of caloric (amount of the caloric fluid divided by volume) (BRUSH, 2004, p. 3).

With this definition of temperature, the caloric theory could explain why compression can increase the temperature of a gas even though no heat is added from outside (the same amount of caloric is concentrated in a smaller volume), or expansion can decrease the temperature even though no heat is lost (the same amount of caloric is spread over a larger volume). But there was one anomalous observation, whose significance was not appreciated until much later: Gay Lussac found that in the free expansion of a gas (into a vacuum rather than pushing back a piston) there is practically no change in temperature (BRUSH, 2004, p. 3).

The caloric theory could also explain phenomena such as the latent heat of phase transitions (solid to liquid or liquid to gas) and the heat absorbed or released in chemical reactions, by postulating that some caloric is "bound" to the individual atoms or compounds. The ordinary pressure-volume relations of gases are determined by the unbound or "free" caloric that fills the space between particles. The kinetic theory seemed to offer no plausible account of these phenomena, and moreover its hypothesis that the atoms move at constant speed between collisions seemed incompatible with the generally-accepted idea that all space is filled with an ethereal fluid (BRUSH, 2004, p. 3).

O desenvolvimento da TCG teve outros precursores que também seguiram modelos parecidos ao de Bernoulli, como John Herapath, em 1820, John Waterston, em 1845; estes conseguiram derivar as leis de Boyle e Charles (ROCHA, 2011).

John Waterston derivou “[...] o resultado $P = Nm\bar{v}^2$, que a menos de um fator numérico, é uma expressão bastante conhecida da TCG. Ele expressa a pressão P em função do número de moléculas N por unidade de volume, da sua massa m e da velocidade ao quadrado média $\bar{v}^2$ ” (ROCHA, 2011, p. 164).

Além da falta de evidências experimentais na época, para o modelo atômico, outros dois fatos competiram para a não aceitação da TCG: primeiro, “[...] o papel dominante que a teoria do fluido calórico desempenhou até meados do século XIX, cujas hipóteses básicas estavam em dissonância com uma explicação mecânica do calor [...]” (ROCHA, 2011, p. 164); em segundo, “[...] dois destes autores, Herapath e Waterston, eram físicos amadores, sem maior inserção na ciência de suas épocas” (ROCHA, 2011, p. 164).

Rudolf Clausius e William Thomson (conhecido como Lord Kelvin), sob forte influência do trabalho de Carnot sobre máquinas térmicas, contribuíram com a formulação da Segunda Lei da Termodinâmica (ROCHA, 2011). “Em 1850, Clausius e, depois, em 1851, W. Thomson (Kelvin) modificam o tratamento desenvolvido por Carnot, visando a descrever a irreversibilidade dos processos naturais” (ROCHA, 2011, p. 155).

Carnot estudou as máquinas térmicas, especialmente a máquina a vapor, com a finalidade de “[...] calcular a eficiência de uma máquina ideal e enunciou um teorema, segundo o qual a eficiência independia da substância, isto é, se a máquina era a vapor, ar ou outro agente qualquer” (DIAS, 1994, p. 472). Logo, “a implicação é que calor deveria ser tratado como uma substância e, portanto, não poderia aparecer ou desaparecer por ele mesmo” (DIAS, 1994, p. 472-473). Esta ideia é conhecida como Princípio de Carnot, que, segundo ele,

[...] o funcionamento de uma máquina térmica consiste em tirar uma quantidade de calor (calórico) de uma fonte quente e jogar na fonte fria uma igual quantidade de calor (calórico); no decurso desse processo, o vapor realiza trabalho mecânico pois se expande, empurrando um êmbolo (DIAS, 1994, p. 473, grifo do autor).

No entanto, Thomson, com base em experimentos realizados por James Prescott Joule com relação à interconversão do trabalho, percebeu que a conservação do calor era incoerente, pois, “[...] se calor é trabalho, então não pode ser todo ele transferido; portanto, o teorema de Carnot não podia estar correto” (KLEIN, 1974; HARMAN, 1982 apud DIAS, 1994, p. 473).

Nesse sentido, “Coube a Clausius corrigir o teorema; ele notou que não haveria contradição entre Carnot e Joule, desde que parte do calor fosse transformada em trabalho e

parte, transferida à fonte fria” (KLEIN, 1974; HARMAN, 1982 apud DIAS, 1994, p. 473). Assim, Clausius levantou uma hipótese para provar o teorema: “[...] calor flui, espontaneamente, dos corpos, mais quentes para os mais frios” (KLEIN, 1974; HARMAN, 1982 apud DIAS, 1994, p. 473).

Em 1854, Clausius fez a sua grande contribuição para a formulação do conceito de irreversibilidade, com base no princípio: “*Calor nunca pode passar de um corpo mais frio para um mais quente, sem que alguma outra mudança, com ela relacionados, ocorra ao mesmo tempo*” (BRUSH, 1974, p. 27, grifo do autor, tradução nossa). “Na descrição dos diversos processos cíclicos que podem ser submetidos por um gás, retornando finalmente ao seu estado inicial, Clausius distingue-se entre reversíveis aqueles que poderiam ser executados para trás, e não-reversível” (CLAUSIUS, 1867 apud BRUSH, 1974, p. 27). Desse modo, Clausius

[...] defined the “equivalence-value of a transformation of work into the quantity of heat Q , of the temperature t , ” as $Q \cdot f(t)$, where $f(t)$ is a function of temperature. He selected the sign convention to be such that conversion of work into heat and passage of heat from a higher to a lower temperature will be *positive* transformations (CLAUSIUS, 1867 apud BRUSH, 1974, p. 27).

If heat is transferred from temperature t_1 to t_2 , the equivalence-value of the transformation must depend on both t_1 to t_2 , so CLAUSIUS writes it $Q \cdot F(t_1, t_2)$. If the two temperatures are interchanged the value must have opposite sign, by definition, hence $F(t_1, t_2) = -F(t_2, t_1)$. For a reversible cyclic process the total equivalence-values of all transformations must be zero; this implies that $F(t, t') = f(t') - f(t)$ (CLAUSIUS, 1867 apud BRUSH, 1974, p. 27-28).

Then CLAUSIUS introduced the symbol T as “all unknown function of the temperature” defined as the reciprocal of f : $f(t) = 1/T$ (CLAUSIUS, 1867 apud BRUSH, 1974, p. 28).

Further, instead of placing the temperature t in parentheses he used subscripts to denote the values of T at particular values of t : T_1, T_2 , etc. [...] Finally, he introduced the symbol N for the total value of all transformations in a cycle: $N = Q_1/T_1 + Q_2/T_2 + \dots = \sum Q/T$ or, if the transfer takes place at continuously varying temperatures, $N = \int dQ/T$. He could then state the theorem: in a reversible cyclic process $N = 0$ (CLAUSIUS, 1867 apud BRUSH, 1974, p. 28).

The proof of the theorem relied on the irreversibility principle: if N were negative, this would mean in effect that heat was passing from a colder body to a warmer body without compensation, contrary to the principle stated above. If N were positive and the cycle were reversible, then one could run it backwards and obtain a negative value of N , which is forbidden for the same reason (CLAUSIUS, 1867 apud BRUSH, 1974, p. 28).

This was now CLAUSIUS' way of stating the Second Law of Thermodynamics: for all reversible cyclic processes $\int dQ/T = 0$ [...] (CLAUSIUS, 1867 apud BRUSH, 1974, p. 28).

CLAUSIUS was able to provide a theoretical foundation for his assumption about T in his first paper on kinetic theory in 1857. There he explained that no interior work has to be performed to change the volume of a perfect gas since molecular attractions

are assumed to be insignificant at large distances [...] (CLAUSIUS, 1857 apud BRUSH, 1974, p. 29).

Although CLAUSIUS did not want to put himself in the awkward position of basing his (macroscopic) mechanical theory of heat on microscopic assumptions, he continued in his later writings to state that T is simply the absolute temperature without providing a proof. He did introduce in 1862 the concept of “disgregation,” defined as a quantity dependent on molecular arrangements, but this quantity was never clearly related to actual positions and velocities of molecules, and it did not seem to imply any degree of randomness in those positions and velocities (CLAUSIUS, 1867 apud BRUSH, 1974, p. 29).

By 1863, CLAUSIUS was finding that his “equivalence value of transformations,” though still lacking a clear meaning, was a useful concept in describing various problems and in confounding objections to his theory. In particular, his principle that heat “incessantly strives to pass from warmer to colder bodies” and therefore cannot of itself pass from a colder to a warmer body had seemed obvious to him [...] (BRUSH, 1974, p. 30).

Nesse contexto, “Clausius, observando a irreversibilidade do processo de condução de calor, postula que não é possível, num processo cíclico, transferir totalmente certa quantidade de calor do corpo mais frio para o mais quente” (ROCHA, 2011, p. 155).

Finalmente, em 1865, Clausius escreveu o famoso termo “entropia”, introduzindo pela primeira vez a equação $dS = dQ/T$ (CLAUSIUS, 1867 apud BRUSH, 1974). Esse fato ocorreu quando ele “[...] propôs uma formalização teórica para um ciclo reversível qualquer, construindo-o a partir de uma sucessão de ciclos de Carnot” (ROCHA, 2011, p. 156).

O conceito de entropia é representado pela letra S :

[...] para todo estado de equilíbrio termodinâmico pode-se definir uma entropia S . Consideremos dois estados z_1 e z_2 quaisquer tais que $S(z_2) > S(z_1)$. Para qualquer transformação termodinâmica reversível que leva de z_1 a z_2 temos que dS ao longo do processo é dado pela razão do calor dQ fornecido ao sistema e a temperatura T na qual isso ocorre: $dS = dQ/T$ (DAHMEN, 2006, p. 283).

Desse modo, para qualquer processo irreversível que nos leve de z_1 a z_2 , a segunda lei da termodinâmica nos diz que $\Delta S_{irrev} > \Delta S_{rev}$, ou seja, os processos irreversíveis estão associados a um aumento da entropia maior do que aqueles de processos reversíveis entre os mesmos estados (DAHMEN, 2006).

Clausius demonstrou que a energia térmica de um gás era a energia cinética das suas moléculas, portanto “[...] a Primeira Lei da Termodinâmica não era mais do que uma lei mecânica de conservação de energia aplicada às partículas do gás” (DAHMEN, 2007, p. 18).

Com relação à irreversibilidade, Kelvin contribuiu modificando o tratamento desenvolvido por Carnot, visando descrevê-la com relação aos processos naturais; traduziu tal irreversibilidade ao postular que não existe nenhuma máquina térmica que tenha um rendimento

de 100%; não é possível, então, realizar um processo cíclico onde todo o calor seja transformado em trabalho (ROCHA, 2011).

Clausius perdeu a oportunidade para produzir uma teoria satisfatória da irreversibilidade com base no conceito de entropia porque se voltou mais para uma interpretação mecânica da Segunda Lei, entretanto nunca tentou produzir uma explicação mecânica da irreversibilidade (DAUB, 1971 apud BRUSH, 1974).

Antes de adentrarmos ao entendimento a respeito da formulação da Segunda Lei da Termodinâmica, que lançou novos desafios para a Teoria Cinética dos Gases, aludimos para o entendimento do caminho livre médio (ℓ): uma quantidade introduzida por Clausius, em 1862: é a distância média percorrida por uma molécula entre colisões sucessivas (CARUSO; OGURI, 2006).

O conceito de caminho livre médio foi introduzido em decorrência da objeção levantada à Teoria Cinética, ou seja, “[...] se as moléculas se movem com velocidades da ordem de 10^3 m/s, a mistura de dois gases deveria ser quase instantânea ou muito mais rápida que o observado” (CARUSO; OGURI, 2006, p. 94).

Clausius contornou esse problema “[...] supondo que, apesar do valor elevado da velocidade entre colisões, o caminho livre médio é grande em relação ao tamanho da molécula, mas muito pequeno em relação às dimensões do recipiente que contém o gás” (CARUSO; OGURI, 2006, p. 94). Consequentemente, “[...] o diâmetro de uma molécula é da ordem de $3\text{ \AA} = 3 \times 10^{-8}$ cm, enquanto ela tem, em média, um cubo de aresta $35\text{ \AA}$ para se movimentar livremente” (CARUSO; OGURI, 2006, p. 94).

Supondo que as moléculas sejam esferas rígidas de raio r , mas perfeitamente elásticas, no instante de uma colisão, a distância entre seus centros será $d = 2r$, ou seja, quando a superfície de uma esfera de centro O' tocar a superfície esférica de raio d de outra molécula com centro O [...]. Assim, para o movimento de uma determinada molécula de centro O , em primeira aproximação, pode-se considerar que o seu raio efetivo seja igual a d e que as demais moléculas estejam em repouso e sejam puntiformes. A área da seção transversal ao movimento dessa molécula, $\sigma = \pi d^2$ chamada de *seção de choque geométrico*, é a área efetiva que a molécula oferece como alvo às outras [...] (CARUSO; OGURI, 2006, p. 94).

Nesse contexto, “[...] durante um intervalo de tempo Δt , essa molécula com velocidade média $\langle v \rangle$ percorre uma distância da ordem de $\langle v \rangle \Delta t$ ao longo de uma trajetória aleatória, devido às colisões, varrendo a um volume V igual a $V = \sigma \langle v \rangle \Delta t$ ” (CARUSO; OGURI, 2006, p. 94, grifo do autor). Por exemplo:

Se n é o número de moléculas por unidade de volume, o número de colisões durante o intervalo Δt é dado por $n \sigma \langle v \rangle \Delta t$. Desse modo, a frequência (f) de colisão – isto é,

o número de colisões por unidade de tempo, proporcional à seção de choque – é dada por $f = n \sigma \langle v \rangle$ e a distância média entre colisões, ou livre caminho médio ($\ell = \langle v \rangle / f$), é inversamente proporcional à seção de choque [...] (CARUSO; OGURI, 2006, p. 94-95).

Em condições normais de T e P, “[...] a densidade de um gás é da ordem de 3×10^{19} moléculas/cm³ e a velocidade eficaz é da ordem de 10^5 cm/s, a frequência de colisão para um gás ideal é de aproximadamente 4×10^9 Hz [...] e o caminho livre médio, aproximadamente 3×10^{-5} cm [...]” (CARUSO; OGURI, 2006, p. 95). Logo, “a magnitude desse valor para o caminho livre médio é que justifica, *a posteriori*, boa parte do sucesso da Teoria Cinética dos Gases” (CARUSO; OGURI, 2006, p. 95, grifo do autor).

A equação, $\ell = 1 / n\sigma$, se refere ao caminho livre médio e, geralmente, é escrita como $\ell = \alpha / n\sigma$, sendo α um fato que dependerá das hipóteses feitas a respeito dos movimentos relativos das moléculas (CARUSO; OGURI, 2006).

Dado o exposto, “Clausius, utilizou conceitos de probabilidade para derivar a fórmula de caminho livre médio, mas foi Maxwell que converteu a teoria cinética de gases para uma doutrina totalmente estatística” (BRUSH, 2004, p. 13, tradução nossa).

Clausius apesar de ter realizado grandes contribuições, não avançou no que diz respeito à obtenção da função de distribuição de velocidade $f(\vec{v})$ (ROCHA, 2011).

Reporta-nos às contribuições do físico escocês James Clerk Maxwell, elucidando suas ideias e refutações e também a de outros cientistas que cooperaram para o desenvolvimento da Teoria Cinética dos Gases.

2.2 TRABALHOS DE JAMES CLERK MAXWELL

O trabalho de Clausius sobre o livre-percurso-médio foi lido por James Clerk Maxwell, logo, “[...] entendeu que fenômenos de transporte, como transmissão de calor (transporte de energia), viscosidade (transporte de momentum) e difusão (transporte de matéria), deveriam depender do livre-percurso-médio” (TRUESDELL, 1975 apud DIAS, 1994, p. 743).

Maxwell criticou o trabalho de “[...] Clausius por ter atribuído a todas as moléculas a mesma grandeza (módulo) de velocidade, igual à média dos módulos das velocidades. O argumento de Maxwell é que as moléculas estão constantemente colidindo e mudando sua velocidade, em módulo e direção” (DIAS, 1994, p. 473).

Diante o exposto, “a teoria cinética de Clausius foi rapidamente retomada e desenvolvida em um poderoso instrumento de pesquisa matemática pelo físico escocês James Clerk Maxwell (1831-1879)” (DAHMEN, 2007, p. 13). Este “[...] desenvolveu uma teoria de

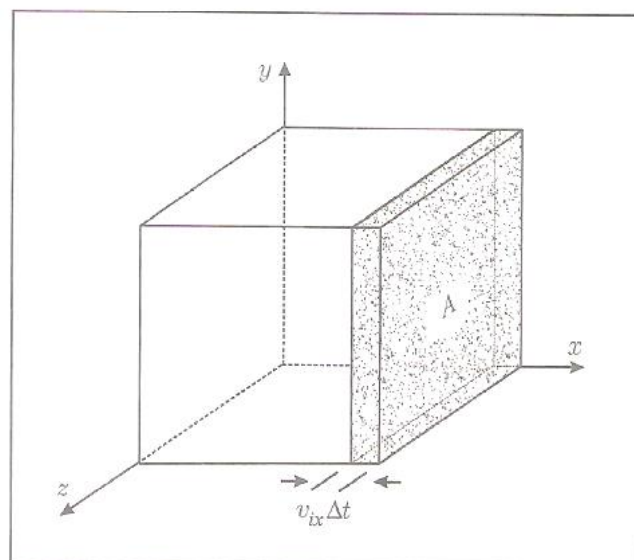
processos de transporte em gases através da introdução de um novo elemento: uma lei de distribuição estatística de velocidades de moléculas” (DAHMEN, 2007, p. 18).

Maxwell, em 1860, em “[...] seu primeiro artigo sobre a *teoria Particular do Calor* [...], introduziu, na Proposição IV, a lei estatística de erros, como sendo a lei de distribuição de velocidades das moléculas de um gás perfeito, que hoje leva o nome de *distribuição de Maxwell*” (DIAS, 1994, p. 473, grifo do autor).

Foi “[...] Maxwell que incorporou elementos de teoria de probabilidades na Física para a obtenção da seguinte expressão: [...] $f(\vec{v}) = C \exp(-mv^2 / 2 k_B T)$ ” (ROCHA, 2011, p. 165, grifo do autor). Sendo assim, “[...] m indica a massa de uma molécula, v a sua velocidade, T a temperatura medida em Kelvin e k_B uma constante, conhecida hoje como constante de Boltzmann” (ROCHA, 2011, p. 165).

Maxwell empregou argumentos bem gerais para obter a expressão acima (foi comprovada em experiências depois de certo tempo), como: “[...] que o espaço é homogêneo e que todas as suas direções são equivalentes, o que se chama de *isotropia*. A derivação da equação de estados dos gases ideais por Maxwell leva a $PV = 1/3 Nm\bar{v}^2$ [...]” (ROCHA, 2011, p. 166, grifo do autor). Para melhor compreensão, apresentamos resumidamente a dedução de Maxwell, ilustrando, para melhor compreensão, com a figura 01.

Figura 01: Distribuição de moléculas de um gás ideal num recipiente de volume V



Fonte: Caruso e Oguri (2006, p. 68)

De acordo com a figura 01, para um volume no qual estão distribuídas as moléculas de um gás ideal num recipiente de volume V , Maxwell deduziu:

Seja N_i o número de moléculas com velocidade v_i e N_i/V , a densidade de moléculas com velocidade v_i no recipiente de volume V . Em um intervalo de tempo Δt , as moléculas com componentes de velocidade v_{ix} na direção x , que se chocam com uma das duas paredes do recipiente de seção A transversal à direção x , são as que estão contidas no interior de um paralelepípedo de volume $\Delta V = Av_{ix}\Delta t$ [...] (CARUSO; OGURI, 2006, p. 68).

Dessa maneira, “[...] o número N_{ix} das moléculas que colidem com uma das paredes do recipiente transversal à direção x , no intervalo de tempo Δt [...]” (CARUSO; OGURI, 2006, p. 68) é representado pela Equação 1:

$$N_{ix} = \frac{1}{2} \frac{N_i}{V} v_{ix} A \Delta t \quad (1)$$

Conforme a Equação (1), “[...] o fator $1/2$ deve-se ao fato de que somente para metade das moléculas as componentes de velocidade têm o sentido que vai de encontro à parede escolhida” (CARUSO; OGURI, 2006, p. 68). Logo, “[...] a hipótese de isotropia do movimento das moléculas, também denominada princípio do caos molecular, segundo a qual as moléculas se deslocam em quaisquer das três direções independentes x , y e z com a mesma probabilidade [...]” (CARUSO; OGURI, 2006, p. 69), é representado pela Equação (2):

$$(v^2) = (v_x^2) + (v_y^2) + (v_z^2) = \sum_{i=1}^N N_i v_i^2 / N \quad (2)$$

Desse modo, (v^2) corresponde à média dos quadrados das velocidades das moléculas do gás, ou seja, $(v^2) = 3 (v_x^2)$, portanto pode-se escrever a pressão do gás, conforme a Equação (3) (CARUSO; OGURI, 2006, p. 69):

$$P = \frac{1}{3} \frac{N}{V} m (v^2) \quad (3)$$

A Equação (3), “[...] foi obtida, em 1847, pelo inglês James Joule, considerando, entretanto, que todas as moléculas tivessem a mesma velocidade” (CARUSO; OGURI, 2006, p. 69). Nesse contexto,

Clausius and earlier kinetic theorists had assumed that all molecules in a homogeneous gas at a given temperature have the same speed, but Maxwell asserted that the collisions among molecules will instead produce a statistical distribution of speeds. To describe this distribution he borrowed a mathematical formula from the social sciences. The crucial step was his translation of the "normal distribution law" or "law of errors," discovered by Adrain and Gauss and extensively applied by Quetelet, into a distribution law for molecular velocities (BRUSH, 2004, p. 13).

Maxwell greatly extended the scope of the kinetic theory by showing how it could be used to calculate not only the thermal and mechanical properties of gases in

equilibrium, but also their "transport properties": diffusion, viscosity, and heat conduction (BRUSH, 2004, p. 13).

Maxwell, com sua função de distribuição de velocidades, derivou “[...] resultados importantes, como o caminho livre médio das moléculas de um gás e também a correta dependência do coeficiente de viscosidade com a temperatura” (ROCHA, 2011, p. 166).

Segundo Rocha (2011), Clausius, ao utilizar também a função de distribuição introduzida por Maxwell, obteve o teorema da equipartição de energia e derivou a expressão do calor específico dos gases partindo do modelo microscópico; estes resultados confirmaram o sucesso alcançado pela nova teoria. É importante entender isto:

A teoria de probabilidade havia sido significativamente elaborada do ponto de vista matemático por Laplace, entre 1795 e 1812. Apesar do sucesso da teoria em lidar com eventos aleatórios, principalmente em apostas em jogos de azar, Laplace salientou sempre que a introdução do acaso era apenas um artifício para superar a impossibilidade (a seu ver momentânea) de se predizer a evolução dos sistemas mecânicos sujeitos a forças de interação complexas, com choques e atritos (ROCHA, 2011, p. 166).

Rocha (2011) cita que, quando Maxwell utilizou a teoria de probabilidade na análise do gás, sugeriu de modo evidente e contrário às ideias de Laplace, a necessidade de incorporar elementos de aleatoriedade na descrição de sistemas físicos.

Vale ressaltar: “Os escritos publicados de cientistas que identificaram calor com o movimento molecular antes de 1856 raramente afirmam que este movimento é de qualquer forma irregular ou aleatório” (BRUSH, 1974, p. 35, tradução nossa). Segundo Brush (1974), com a entrada de James Clerk Maxwell, a teoria cinética, enfim, se inspirou no principal desenvolvimento da teoria da probabilidade.

[...] in fact, MAXWELL at first goes overboard in assuming what amounts to complete randomness of molecular motion, and later has to retreat to a more deterministic approach in order to comply with the accepted physical viewpoint (BRUSH, 1974, p. 37).

In any case MAXWELL initially felt no need to justify his use of the law of errors for molecular velocities, and it was his failure to explain what this law had to do with the motions and collisions of molecules (assumed to obey NEWTONIAN laws) that prevented other kinetic theorists from appreciating the validity of his law when it was first published in 1860 (BRUSH, 1974, p. 38).

There is one important difference, which becomes clear only in BOLTZMANN'S later work: MAXWELL'S second assumption makes it possible to describe an irreversible time evolution of the velocity distribution function. Thus, a connection between randomness and irreversibility emerged mathematically from MAXWELL'S attempt to prove that his velocity distribution law represents a stable equilibrium in a gas of colliding molecules (BRUSH, 1974, p. 39).

Segundo Brush (1974, 2004), em 1867, Maxwell, ao responder a P. G. Tait a respeito da termodinâmica, apresentou o conhecido Demônio de Maxwell (refere-se a um demônio que estaria em uma porta de correr sem atrito entre duas câmaras, uma contendo gás quente e a outra com gás frio).

According to Maxwell's distribution law, the molecules of the hot gas will have higher speeds on the average than those in the cold gas (assuming each has the same chemical constitution), but a few molecules in the hot gas will move more slowly than the average for the cold gas, while a few in the cold gas will travel faster than the average for the hot gas. The Demon identifies these exceptional molecules as they approach the door and lets them pass through to the other side, while blocking all others. In this way he gradually *increases* the average speed of molecules in the hot gas and *decreases* that in the cold, thereby in effect causing heat to flow from cold to hot. (BRUSH, 2004, p. 19).

In addition to reversing the irreversible, Maxwell's Demon offered a new model for the fundamental irreversible process: he translated heat flow into molecular mixing. The ordinary phenomenon, heat passing from a hot body to a cold one, was now seen to be equivalent (though not always identical) to the transition from a partly ordered state (most fast molecules in one place, most slow molecules in another place) to a less ordered state. The concept of molecular order and disorder was henceforth to be associated with heat flow and entropy, though Maxwell himself didn't make the connection explicit (BRUSH, 2004, p. 20).

Maxwell's conclusion was that the validity of the Second Law is not absolute but depends on the nonexistence of a Demon who can sort out molecules; hence it is a statistical law appropriate only to macroscopic phenomena (BRUSH, 2004, p. 20).

To call the Second Law a "statistical law" does not of course imply logically that it is based on random events -- to the contrary. If Maxwell's Demon could not predict the future behavior of the molecules from the observations he makes as they approach the door, he could not do his job effectively (BRUSH, 2004, p. 20).

While MAXWELL'S Demon is generally cited in connection with the possibility of violating the Second Law of Thermodynamics, it seems equally important to note that by making the mixing of different molecules the fundamental irreversible process, MAXWELL has really strengthened the concept of irreversibility, especially for those who seek molecular explanations for all phenomena. In this context it was only a short step (though not a trivial one) to BOLTZMANN'S identification of entropy with disorder, and the idea that irreversibility is simply a tendency for things to get more chaotic (BRUSH, 1974, p. 41).

O argumento de Maxwell reportado acima (que as moléculas estão constantemente colidindo e mudando sua velocidade, em módulo e direção) foi mantido por 15 anos; sendo assim, no dia 18 de fevereiro de 1875, repetiu em uma de suas palestras que "Clausius, em suas investigações iniciais, pelo menos, não tentou determinar se as velocidades de todas as moléculas do mesmo gás seriam iguais ou se haveria, se desiguais, uma lei segundo a qual elas estariam distribuídas" (DOVER, 1961 apud DIAS, 1994, p. 474). Nessa palestra, Maxwell relatou a

[...] sua definição da natureza "irregular" do "movimento chamado calor": A peculiaridade do movimento chamado calor é que ele é perfeitamente irregular; vale dizer que a direção e grandeza da velocidade de uma molécula, em um dado instante

de tempo, não podem ser expressas como dependendo da posição presente da molécula e do tempo (DOVER, 1961 apud DIAS, 1994, p. 475).

Dover (1961), apud Dias (1994), descreve que Maxwell forneceu uma interpretação da origem da irregularidade:

Qualquer coisa que pode introduzir regularidade no movimento da agitação e dispor as moléculas em ordem e método em suas evoluções, pode controlar ou mesmo reverter aquela tendência à difusão de matéria, movimento e energia, que é um dos mais invariáveis fenômenos da natureza, à qual [William] Thomson deu o nome de dissipação de energia (DOVER, 1961 apud DIAS, 1994, p. 475, grifo do autor).

Em 1878, Maxwell escreveu outro artigo para a Enciclopédia Britânica, com o título “Difusão”, enfatizando novamente que o movimento molecular é irregular (BRUSH, 1974)., Maxwell também discutiu a:

[...] question of whether diffusion leads to an irreversible increase of entropy. This was a crucial point in the development of a general theory of irreversibility, going beyond the special case of heat flow. MAXWELL observed that the answer depends on whether the gases, which interdiffuse, are the same or whether they are different and can be separated by a reversible process. In the first case, there is no entropy increase, but in the second, there is. But how can we be sure that two gases are really the same? This is the famous “GIBBS paradox” and MAXWELL’S discussion is probably influenced by that of GIBBS though he does not mention him (GIBBS 1902 apud BRUSH, 1974, p. 43).

A conclusão de Maxwell foi além da de Gibbs, pois salientou o seguinte:

[...] is quite possible that we might mix two gases which we thought were identical, and later discover that they could be separated by a reversible process ; in this case we would have to correct the entropy increase assigned to the original mixing from zero to a positive value. But this means that entropy is not an observable property of the system itself but depends on our knowledge about the system [...] (BRUSH, 1974, p. 43).

So once again MAXWELL draws back from the position that molecular motions are random in themselves, giving in the process a remarkable anticipation of the modern “information theory” interpretation of entropy (BRUSH, 1974, p. 43).

Uma versão diferente da teoria do transporte foi desenvolvida alguns anos mais tarde pelo físico austríaco Ludwig Boltzmann, equivalente à teoria de Maxwell, no sentido de conduzir às mesmas fórmulas para os coeficientes de difusão, viscosidade e condução de calor, apontando ser mais conveniente para algumas outras aplicações (BRUSH, 1974).

Segundo Brush (1974, 2004), Boltzmann, ao invés de tentar eliminar o não equilíbrio da função de distribuição de velocidade, escolheu uma forma especial da lei da força; usou essa função como o principal objeto de seu estudo.

No próximo item, é descrito um quadro geral das contribuições de Ludwig Eduard Boltzmann para a constituição da teoria cinética dos gases.

2.3 TRABALHOS DE LUDWIG EDUARD BOLTZMANN

Após uma interpretação molecular satisfatória da Primeira Lei da Termodinâmica, novos olhares se voltaram para compreender a Segunda Lei da Termodinâmica (BRUSH, 2004). A sua formulação lançou novos desafios para a Teoria Cinética dos Gases no que diz respeito à introdução do “[...] conceito de entropia para quantificar o grau de reversibilidade ou irreversibilidade dos processos termodinâmicos [...]” (ROCHA, 2011, p. 167).

Nesse contexto, Ludwig Eduard Boltzmann (1844-1906) ficou conhecido como um dos mais importantes físicos teóricos da segunda metade do século 19 devido, em grande parte, às suas pesquisas em Teoria Cinética dos Gases e em Mecânica Estatística (DAHMEN, 2007).

Boltzmann, na busca de compreender as propriedades macroscópicas da matéria, desenvolveu boa parte de seus trabalhos em física voltados para o estudo de conceitos mecânicos do movimento de partículas microscópicas (DAHMEN, 2007).

Geralmente, o estabelecimento da conexão entre aleatoriedade e irreversibilidade é creditado a Boltzmann, ainda que muitos de seus trabalhos iniciais já houvessem sido antecipados ou estimulados pelas publicações de Maxwell (BRUSH, 1974).

O empenho de Boltzmann foi compreender e explicar o equilíbrio termodinâmico, porque “[...] os processos termodinâmicos são extremamente estáveis e regulares, o que era de difícil reconciliação com o fato de que os sistemas mecânicos são compostos por uma enorme quantidade de partículas que se movem com um movimento bastante irregular” (LARANJEIRAS; CHIAPPIN, 2006, p. 297).

Além dos sistemas termodinâmicos não serem unicamente estáveis, pois também são irreversíveis, Boltzmann, na tentativa de explicar a irreversibilidade, investigou as propriedades moleculares dos estados termodinâmicos e desenvolveu “[...] um tratamento geral do equilíbrio térmico, ultrapassando assim, as abordagens correntes em teoria cinética dos gases, desenvolvidas por R. Clausius (1822-88) e J. C. Maxwell (1831-1879)” (LARANJEIRAS; CHIAPPIN, 2006, p. 297).

Clausius e Maxwell mostraram “[...] que as propriedades de equilíbrio e de transporte seguem da cinética das moléculas. Mas se isto era possível, como explicar então a segunda lei?” (DAHMEN, 2006, p. 283). Ou seja: “Como explicar a evolução temporal irreversível da

maioria dos processos naturais, a chamada *flecha do tempo*, a partir de leis mecânicas reversíveis temporalmente?” (DAHMEN, 2007, p. 18).

A Teoria Cinética, sendo uma teoria microscópica baseada na Mecânica de Newton, não poderia descrever fenômenos e processos termodinâmicos irreversíveis; este fato era um obstáculo básico para sua conceituação (CARUSO; OGURI, 2006).

Nesse contexto, “a Segunda Lei era assim um corpo estranho no caminho da fundamentação mecânica da Termodinâmica” (DAHMEN, 2007, p. 18). Boltzmann, na busca de soluções para esse paradoxo, proporcionou a sua maior contribuição à Física: mostrou que o que parece ser impossível é, na realidade, apenas improvável.

Ou seja, nenhuma lei física será violada se os cacos de um copo de vidro se juntarem novamente; este fato nunca foi observado pelo simples fato de que a sua mínima probabilidade de acontecer não é muito imaginada. Assim, Boltzmann mostrou como o conceito de probabilidade é fundamental para descrever a natureza (DAHMEN, 2007).

Em 1866, Boltzmann publicou o seu primeiro artigo na área, com o título ‘Acerca do significado mecânico da segunda lei da teoria do calor’ (LARANJEIRAS; CHIAPPIN, 2006, DAHMEN, 2007). Nesse trabalho, buscou, por meio de uma abordagem cinética, compreender a irreversibilidade termodinâmica no âmbito referencial da mecânica, pois a irreversibilidade deveria surgir naturalmente das leis da mecânica que são reversíveis (DAHMEN, 2006).

Para tanto, “atacar o problema da irreversibilidade significava conciliar o caráter irregular, reversível do movimento dos elementos constituintes de um dado sistema, com o caráter regular, irreversível, apresentado por esses mesmos sistemas quando vistos de um ponto de vista macroscópico” (LARANJEIRAS; CHIAPPIN, 2006, p. 298).

Assim, a estratégia de Boltzmann foi remeter os fenômenos macroscópicos à estrutura da matéria e ao movimento individual dos seus elementos constituintes (átomos), partindo dos princípios da mecânica ao comportamento desses elementos (LARANJEIRAS; CHIAPPIN, 2006).

Boltzmann enfrentou o problema da irreversibilidade, estabelecendo uma analogia mecânica para a entropia por meio da prova de um teorema denominado princípio da mínima ação, mas “[...] a explicação para o seu aumento irreversível continuou em aberto visto que em sua caracterização mecânica do estado de equilíbrio, Boltzmann se restringiu a sistemas estritamente periódicos e, portanto, reversíveis mecanicamente” (LARANJEIRAS; CHIAPPIN, 2006, p. 298).

Em 1868, Boltzmann novamente, diante do problema da distribuição de velocidades das moléculas de um gás, marcou o início de um programa que o levou a generalizar o trabalho de

Maxwell para o caso geral de partículas em interação, razão pela qual a conhecemos hoje como “distribuição de Maxwell-Boltzmann” (DAHMEN, 2006; 2007).

Em 1872, Boltzmann apresentou uma das obras mais importantes e influentes na história da teoria cinética, denominada “Outros estudos sobre o equilíbrio de calor entre as moléculas de gás” (Weitere Studien über das Wärmegleichgewicht unter Gasmolekülen), avançando, assim, com o desenvolvimento da TCG (BOLTZMANN, 1872 apud BRUSH, 1974).

No parágrafo de introdução desse trabalho, Boltzmann chegou muito perto de postular que os movimentos moleculares são aleatórios, argumentando que os eventos mais irregulares, quando ocorrem nas mesmas proporções, oferecem o mesmo valor da média, podendo, assim, observar leis completamente definidas do comportamento de corpos quentes (BOLTZMANN, 1872 apud BRUSH, 1974). “But when BOLTZMANN proceeds to his mathematical derivations involving the distribution function f , he always refers to this as giving the *number* of molecules having some specified velocity or other characteristic quantity” (BOLTZMANN, 1896 apud BRUSH, 1974, p. 44). Assim,

BOLTZMANN assumes that in the initial state, each direction of tile molecular velocity is equally probable, and that the distribution function does not depend on the space coordinates. [...] He then asserts that the number of collisions in time τ between pairs of molecules in which the two molecules have kinetic energies between x and $x + dx$, and between x' and $x' + dx'$, before the collision, and the first molecule has kinetic energy between ξ and $\xi + d\xi$ after the collision, is given by the expression $dn = \tau f(x, t) dx \cdot f(x', t) dx' d\xi \cdot \psi(x, x', \xi)$ where $\psi(x, x', \xi)$ depends on the nature of tile collision and the force law. There are only three independent variables since conservation of total kinetic energy is assumed, $x + x' = \xi + \xi'$ (BRUSH, 1974, p. 45).

Segundo Brush (1974), Boltzmann assumiu, como também Maxwell fez em seu trabalho em 1867, que não existe uma correlação entre as duas moléculas antes da colisão, de modo que a distribuição conjunta pode ser escrita como um produto das distribuições únicas da molécula.

Para tanto, Boltzmann, em vez de tentar eliminar o não equilíbrio da função de distribuição velocidade, escreveu, “[...] $f(x, v, t)$ para indicar que ele não depende apenas da velocidade molecular (v), mas também da posição espacial (x) e o tempo (t)” (BRUSH, 2004, p. 15, tradução nossa). Consequentemente, a partir da equação de transporte para o não equilíbrio da função de distribuição de velocidade, forneceu uma versão quantitativa do argumento de Maxwell, ao mostrar:

[...] that collisions always push $f(x, v, t)$ toward the equilibrium Maxwell distribution. In particular, the quantity $H = \int f(x, v, t) \log f(x, v, t)$ always decreases with time unless f is the Maxwell distribution, in which case H maintains a fixed minimum value. This statement is now known as Boltzmann’s H-theorem (BRUSH, 2004, p. 20).

For a gas in thermal equilibrium, Boltzmann's H is proportional to minus the entropy as defined by Clausius in 1865. While the entropy in thermodynamics is defined only for equilibrium states, Boltzmann suggested that his H -function could be considered a generalized entropy having a value for any state. Then the H -theorem is equivalent to the statement that the entropy always increases or remains constant, which is one version of the second law of thermodynamics. The justification for Maxwell's distribution law is then based on the assertion of a general tendency for systems to pass irreversibly toward thermal equilibrium (BRUSH, 2004, p. 20).

Várias críticas foram feitas ao teorema H de Boltzmann, as quais o levaram a fazer revisões publicamente. A primeira ocasião ocorreu em 1877, quando Boltzmann respondeu a uma crítica feita por Loschmidt, culminando no “Paradoxo da reversibilidade” (DIAS, 1994).

A segunda crítica foi feita em 1894, quando Boltzmann respondeu à pergunta de Edward Parnall Culverwell: “Alguém poderia dizer-me o que o Teorema- H prova?” (DIAS, 1994, p. 472). A terceira crítica ocorreu em 1896, também respondendo a uma crítica feita por Ernst Zermelo, chamada de “paradoxo da recorrência” (DIAS, 1994).

Dias (1994) também cita uma primeira crítica feita em 1876 por Josef Loschmidt, quando argumentou “[...] que, para cada possível movimento dos constituintes de um sistema, que leva a seu equilíbrio, existe outro, igualmente possível que o afasta do equilíbrio e, portanto, os processos de origem mecânica, em última análise, seriam sempre reversíveis” (CARUSO; OGURI, 2006, p. 305). “Segundo Loschmidt era impossível deduzir a irreversibilidade a partir das leis reversíveis da mecânica, pois se imaginarmos um sistema que de um estado inicial I em $t = 0$ evolui para um estado final mais desordenado F em $t = \tau$, haverá um aumento da entropia” (DAHMEN, 2006, p. 286); (o símbolo τ , significa período).

Mas, “[...] se imaginarmos um estado inicial $-F$ em $t = 0$ onde todas as partículas têm as mesmas posições que tinham em $t = \tau$ do caso anterior, mas com todas as velocidades invertidas, então após um tempo $t = \tau$ elas chegarão ao estado $-I$ com as velocidades ainda invertidas” (DAHMEN, 2006, p. 286). Desse modo, “o movimento obtido é o mesmo que o anterior, mas em sentido retrógrado. Este processo parte de um estado mais desordenado (maior entropia) para um estado mais ordenado (menor entropia) e, portanto, a entropia diminui com o tempo” (DAHMEN, 2006, p. 286).

No entanto, Boltzmann respondeu que esse argumento de Loschmidt “[...] era apenas um belo sofisma, pois sua inaplicabilidade advinha do fato que até mesmo o número de moléculas num pequeno volume de um gás era tão assustadoramente grande que uma reversão de todas as velocidades seria algo impensável” (DAHMEN, 2006, p. 286).

Esse fato induziu Boltzmann a elaborar a equação da entropia que “[...] do ponto de vista microscópico, a entropia é dada por $S = k \ln \Omega$, onde k é uma constante e Ω é o número de estados. No gás perfeito, $\Omega \propto V \propto 1/W$, onde $W = 1/V$ é a probabilidade de achar uma molécula

no volume, V , do recipiente em que o gás está contido” (FELDENS; DIAS; SANTOS, 2010, p. 2602-3, grifo dos autores). Por exemplo,

[...] imagine que sejam colocadas cinquenta esferas verdes em um recipiente e, sobre elas, cinquenta esferas amarelas; o recipiente é fechado e sacudido; obviamente, as esferas ficarão misturadas. Se se continuar a agitar, não é impossível que se consiga obter a configuração inicial, com as esferas verdes em baixo e as amarelas em cima, porém a probabilidade que isso aconteça é tão pequena que se pode imaginar que o evento nunca será observado, mesmo que se espere a idade do Universo (FELDENS; DIAS; SANTOS, 2010, p. 2602-3).

Nesse exemplo, é dito que as bolas estavam inicialmente em um estado de ordem e, depois de misturadas, foram para um estado de desordem; logo, o significado de “ordem” é que existem menos possibilidades ou estados (em física) acessíveis e “desordem”, que possui mais probabilidades (FELDENS; DIAS; SANTOS, 2010). Portanto, deduz-se isto:

A quantidade que mede o “grau de ordem ou desordem” ou número de estados é a entropia: A desordem aumenta, a entropia cresce. Sempre que um sistema pode distribuir livremente sua energia, ele sempre o faz de maneira que a entropia cresça; do ponto de vista macroscópico, termodinâmico, isso diminui a energia do sistema disponível para a realização de trabalho. A entropia de um sistema é, então, definida como proporcional ao número de estados em que o sistema pode estar (FELDENS; DIAS; SANTOS, 2010, p. 2602-3).

No método combinatorial de Boltzmann, “[...] as relações entre as grandezas macroscópicas que caracterizam um sistema são estabelecidas a partir da definição de entropia” (CARUSO; OGURI, 2006, p. 308).

Para contornar o problema de definir o número de estados em meios contínuos e possibilitar uma interpretação estatística da entropia, Boltzmann discretiza o espaço de fase, admitindo ainda que as N partículas de um gás com energia U , embora idênticas, seriam distinguíveis e estariam distribuídas em M células de energia (ou regiões do espaço de fase) também idênticas e distinguíveis, cada qual com energia ϵ e M . Uma vez que essa divisão é arbitrária, o resultado final não dependeria do tamanho de cada célula e se poderia tomar o limite $\epsilon \rightarrow 0$ (CARUSO; OGURI, 2006, p. 308, grifo dos autores).

Para um conjunto de N osciladores harmônicos unidimensionais, em equilíbrio térmico à temperatura T , o número (G) de estados acessíveis a cada um dos osciladores que constituem o sistema é dado por $G = M^N$ [...]. De acordo com Boltzmann, a entropia S , expressão da medida da desordem de um sistema, é proporcional ao logaritmo do número total de estados, ou seja, $S \propto \ln G \sim N \ln M$ (CARUSO; OGURI, 2006, p. 308, grifo dos autores).

Boltzmann, ao utilizar “[...] resultados da análise combinatória e da probabilidade, calculou o número de maneiras de distribuir um conjunto finito, mas grande de partículas entre níveis, tal que a energia total fosse constante” (DAHMEN, 2007, p. 20). A maximização da probabilidade calculada leva à equação de Boltzmann de entropia, $S = k \ln \Omega$.

Para tanto, existiu “[...] uma contradição fundamental entre a reversibilidade das leis de Newton e a irreversibilidade que vemos na natureza. Esta contradição ficou conhecida como o Paradoxo da Reversibilidade” (BRUSH, 2004, p. 20, tradução nossa). Segundo Brush (2004), outra questão crucial na teoria de Boltzmann é saber distinguir entre macro e micro:

Like Maxwell’s Demon, an observer who could deal directly with microstates would not perceive irreversibility as an invariable property of natural phenomena. It is only when we decide to group together certain microstates and call them, collectively, “disordered” or “equilibrium” macrostates, that we can talk about going from “less probable” to “more probable” states (BRUSH, 2004, p. 21).

Boltzmann apresentou sua interpretação molecular da Segunda Lei, em 1886, durante uma palestra na Academia de Viena, alegando que ela “[...] depende da lei dos grandes números, da mesma forma que o número dos chamados atos voluntários, os casamentos em uma determinada idade, crimes e suicídios permanece constante em uma população suficientemente grande” (BOLTZMANN, 1905 apud BRUSH, 1974, p. 57, tradução nossa).

Essa afirmação sugeriu que os movimentos moleculares são, individualmente, pelo menos imprevisíveis, se não inerentemente aleatórios; no entanto essa interpretação estatística de Boltzmann a respeito dos resultados da segunda lei ainda não chegou ao fim, uma vez que no final desta palestra ele fez as seguintes observações (BRUSH, 1974):

Since a given system of bodies can never by itself pass into an absolutely equally probable state, but rather always into a more probable one, so it is not possible to construct a system of bodies which, after passing through different stages, periodically returns to its original state: a perpetuum mobile (BOLTZMANN, 1905 apud BRUSH, 1974, p. 57).

By 1877, BOLTZMANN was able to build on a solid foundation of molecular theory [...]. For example, he is well aware that one cannot just postulate equal probabilities for all kinetic energies of a molecule (even though the postulate may be conditioned on fixed total energy for all molecules in the system) for that leads to the wrong answer in three-dimensional problems. Instead, one has to insert a weighting factor, equivalent to the assumption that the distribution is uniform with respect to the momentum variable rather than the energy variable. The proof of this fact goes back to the theory of molecular collisions, reminding us that the emancipation from NEWTONIAN dynamics is not yet complete (BOLTZMAN, 1877 apud BRUSH, 1974, p. 56).

O grau de aceitação de Boltzmann de uma visão probabilística do comportamento molecular nesse momento é circunscrita pelos seus comentários sobre o que hoje conhecemos como “hipótese ergódica”, resumida como ponto principal: “[...] the assumption that one can simply average over all possible states of a system in order to calculate its thermodynamic properties could be justified by proving that the system will eventually pass through all those states before returning to its initial condition” (BRUSH, 1974, p. 56).

Assim, “[...] in his review of MAXWELL’S paper “On Boltzmann’s theorem on the average distribution of energy in a system of material points” (MAXWELL, 1874 apud BRUSH, 1974, p. 56), Boltzmann escreveu:

There is a difference in method between Maxwell and Boltzmann, inasmuch as Boltzmann measures the probability of a condition by the time during which the system possesses this condition on the average, whereas Maxwell considers innumerable similarly constituted systems with all possible initial conditions. The ratio of the number of systems which are in that condition to the total number of systems determines the probability in question (BOLTZMANN, 1881 apud BRUSH, 1974, p. 57).

Em 1894, as críticas em torno do Teorema H continuaram, fato ao qual nos reportamos para a ocasião em que Boltzmann respondeu à pergunta de Edward Parnall Culverwell: “[...] será que alguém diz exatamente o que prova o teorema-H? ” (CULVERWELL, 1894 apud BRUSH, 1974, p. 62, tradução nossa). Esta pergunta foi feita por Culverwell por isto:

Because of the reversibility of molecular motions, he thought it would be impossible to prove that dH/dt would be negative for all initial configurations, although possibly “by striking some kind of average” among configurations which approach the MAXWELLIAN state and those that recede from it (obtained by reversing velocities) the average value of dH/dt might be shown to be negative (BRUSH, 1974, p. 62).

Finalmente, em 28 de fevereiro de 1895, Boltzmann publicou uma carta à revista *Nature*, onde “The second part of this letter is a direct reply to CULVERWELL, in which BOLTZMANN reiterated his 1877 position that the Second Law is based on probability theory and can never be proved mathematically from dynamics alone” (BOLTZMANN, 1895 apud BRUSH, 1974, p. 64).

In particular, BOLTZMANN introduced a description of the “*H-curve*” (graph of H vs. time) in which he now asserted, contrary to what he had said in 1886, that even if one starts from an initial state which “is not specially arranged for a certain purpose, but haphazard governs freely,” the value of H must occasionally rise above its minimum value. While “the probability that H decreases is always greater than that it increases” it is also certain that H must sometimes increase. This does not disprove the *H-theorem*, he now says, but only illustrates its probabilistic nature (BRUSH, 1974, p. 64).

BOLTZMANN concluded the letter with “an idea of my old assistant, Dr. Schuetz”:

We assume that the whole universe is, and rests forever, in thermal equilibrium. The probability that one (only one) part of the universe is in a certain state, is the smaller the further this state is from thermal equilibrium; but this probability is greater, the greater is the universe itself. If we assume the universe great enough, we can make the probability of one relatively small part being in any given state (however far from the state of thermal equilibrium), as great as we please. We can also make the probability great that, though the whole universe is in thermal equilibrium, our world is in its present state.... (BRUSH, 1974, p. 64).

Em 1896, o matemático Ernest Zermelo também criticou o Teorema H, argumentando que a teoria cinética era incapaz de explicar o fenômeno da irreversibilidade porque em algum momento as condições iniciais do sistema iriam retornar, contestando, assim, a segunda lei, ou seja, “[...] se H sempre diminui a partir de um dado t_0 , ele teria pelo teorema da recorrência que crescer em algum momento novamente retornando a um valor próximo de $H(t_0)$ ” (DAHMEN, 2006, p. 286, grifo do autor). É importante elucidar que Zermelo,

[...] levantou sua objeção baseado no teorema da recorrência de Poincaré que diz que um sistema mecânico sob ação de forças conservativas e cujas posições e velocidades sejam limitadas, obrigatoriamente passará, para algum tempo t , em um ponto do espaço de fase tão próximo quanto se queira do ponto em que se encontrava em t_0 (ZERMELO, 1896, apud DAHMEN, 2006, p. 286, grifo do autor).

Duas décadas depois, Boltzmann, em meio às críticas, “[...] was not quite satisfied that his hypothesis of molecular disorder resolved the reversibility and recurrence paradoxes; in response to further criticisms by Zermelo he proposed a new hypothesis” (BRUSH, 2004, p. 24).

Suppose we consider the curve of H as a function of time for the entire universe, or for a part of the universe isolated from the rest. A high value of H will correspond to a low-entropy highly-ordered state, where life can exist. If the recurrence theorem is correct then such a state can be regarded as one of an infinite number of maxima of an oscillating curve. If we follow H forward in time from one of these peaks, it will decrease in accordance with the H theorem; but it must eventually increase again to get to the next peak. Such an epoch of increasing H (decreasing entropy) would seem to violate the Second Law. But, Boltzmann suggested, if the irreversible processes in our environment and in our own bodies are “running backwards” then our own sense of the direction of time must also be reversed. Thus for any conscious beings who exist during this epoch, H must decrease when measured with respect to the time-changes of those beings, so for them the Second Law still holds. (BRUSH, 2004, p. 24-25).

Boltzmann, apesar de não ter considerado esta proposta como mais do que uma hipótese especulativa, justificou que não é viável realizar conclusões que a teoria cinética estaria incorreta sem antes calcular o tempo necessário para que a recorrência ocorra mesmo o teorema de Poincaré estando correto (BRUSH, 2004), pois “para um pequeno volume de gás, da ordem de alguns centímetros cúbicos, este tempo é muitas ordens de grandeza superior à idade do Universo e embora H possa aumentar, a probabilidade que isto ocorra é infinitamente pequena (BOLTZMANN, 1896 apud DAHMEN, 2006, p. 286, grifo do autor).

Nesse contexto, “Boltzmann’s hypothesis asserts that irreversibility -- the statement that “entropy increases with time” is not a law of nature but a tautology: the direction of time is determined by the direction of entropy increase” (BRUSH, 2004, p. 25).

Boltzmann não queria deixar a impressão de que a hipótese de aleatoriedade fornecia uma explicação lógica satisfatória de irreversibilidade na física moderna, ou seja:

In the context of the kinetic theory of gases and attempts to prove an *H*-theorem (either classical or quantal), it is not randomness itself but the way it is introduced into the equations that leads to irreversibility; one still has the choice of regarding irreversibility as an inherent property of the world or as a feature of our method of describing the world (BRUSH, 1974, p. 76).

Segundo Brush (1974), os debates no final do século XIX foram muito importantes porque, além de terem popularizado entre a comunidade científica um novo conjunto de ideias, também proporcionaram a transição da física clássica, para dar lugar nas décadas seguintes à física quântica. Portanto “[...] deixou a ciência do século 20 um rico legado de conhecimentos úteis sobre as moléculas e gases e conjecturas provocativas sobre a irreversibilidade e o indeterminismo” (BRUSH, 2004, p. 25, tradução nossa).

A seguir, apresentamos a pesquisa desenvolvida por Piaget e Inhelder (1951) sobre a origem da concepção de acaso e de probabilidade com crianças de diferentes idades.

3 A EPISTEMOLOGIA GENÉTICA DE JEAN PIAGET

Neste capítulo, apresentamos a estrutura que compõe o referencial teórico a respeito da Epistemologia Genética de Jean William Fritz Piaget. Como esta área é composta por um amplo acervo bibliográfico construído por Piaget e também em conjunto com seus colaboradores, salientamos alguns temas dessa teoria para o desenvolvimento deste trabalho.

A preocupação de Jean Piaget em compreender como ocorre a construção do conhecimento humano desde o berço à idade adulta o levou a desenvolver uma profunda e extensa investigação teórica e experimental do desenvolvimento qualitativo das estruturas intelectuais, resultando na Epistemologia Genética de Piaget, a qual apresentamos primeiramente neste capítulo. Na sequência, elucidamos a inteligência segundo o autor; os quatro períodos do desenvolvimento cognitivo, revelando as características fundamentais de cada estágio, o sensório-motor, o pré-operatório, o operatório concreto e o formal.

Para concluir este capítulo, apresentamos o trabalho desenvolvido por Piaget e Inhelder (1951), “A origem da ideia do acaso na criança”; nele nos apoiamos e o adaptamos para a presente pesquisa. Para finalizar este capítulo, apresentamos alguns trabalhos desenvolvidos com base na teoria epistemológica de Jean Piaget.

3.1 A EPISTEMOLOGIA GENÉTICA DE PIAGET

Biólogo de formação, Piaget encontrou na Biologia um exemplo de ciência empírica e, ao mesmo tempo, na Filosofia se deparou com questões a respeito dos limites e possibilidades do conhecimento humano. Esse fato é confirmando em seus escritos: “Minha educação superior concentrou-se nos campos da biologia e da filosofia, e, entre 1911 e 1925, publiquei cerca de 25 estudos sobre moluscos terrestres e aquáticos” (PIAGET, 1974, p. 285). Assim, o seu interesse também pela Filosofia é reportado da seguinte maneira: “Ao passo que eu desejava dedicar-me à biologia, tinha igual interesse pelos problemas do conhecimento objetivo e pela epistemologia” (PIAGET, 1974, p. 285).

Segundo Piaget, o treinamento na área da Biologia foi de extrema importância para as suas investigações psicológicas posteriores, e o interesse em compreender como se origina o conhecimento humano o despertou também para outra área importante, a da Psicologia.

Piaget iniciou a interação com a Psicologia por meio de observações empíricas que ocorriam nos seres naturais, inteiramente unidas a processos biológicos e com discussões em Filosofia, em particular pela Epistemologia; “[...] dedicou-se, precisamente, a descobrir como

o ser humano pensa, por que uns são lógicos e outros não, por que a criança pensa diferente do adulto evoluído [...]” (LIMA, 1980, p. 21). E, ainda, “[...] por que a causalidade, por exemplo, era tão diferente para Aristóteles e para Galileu, como nasce a noção de tempo, espaço, objeto, na criança e na humanidade [...]” (LIMA, 1980, p. 21). Nesse contexto, Piaget fez seus questionamentos:

[...] como aumentam os (e não o) conhecimentos? Por quais processos uma ciência passa de um conhecimento determinado, julgado depois insuficiente, a outro conhecimento determinado julgado depois superior pela consciência comum dos adeptos desta disciplina? Todos os problemas epistemológicos são então encontrados, mas na perspectiva histórico-crítica e não mais de improviso [...] (PIAGET, 1973, p. 33).

Do mesmo modo, podemos encontrar em outros livros que tratam sobre os estudos de Piaget, autores reportando-se para questões referidas por Piaget do tipo: “Como aumentam e se ampliam os nossos conhecimentos?” (DOLLE, 1995, p. 9). “Qual é a gênese das estruturas lógicas do pensamento das crianças, como funcionam, *ergo*, quais são os procedimentos cognitivos que a criança utiliza?” (DOLLE, 1995, p. 19, grifo do autor). De outra maneira, “De que modo se desenvolvem, não obstante a sua relativa estabilidade, as estruturas do pensamento e do conhecimento humano?” (KESSELRING, 1993, p. 21).

Piaget, ao buscar respostas para compreender todas essas questões, imaginou que conseguiria soluções em um “curto” tempo, mas, felizmente, se dedicou neste âmbito até o final de sua vida, desenvolvendo então a teoria cognitiva denominada Epistemologia Genética. O entendimento dessa teoria passa pela compreensão dos seus termos; antes de defini-la, elucidaremos o significado de cada termo (epistemologia e gênese).

O primeiro termo, Epistemologia, também conhecida de teoria do conhecimento, diz respeito a uma teoria filosófica, a qual objetiva o estudo do conhecimento no que diz respeito à sua natureza, às suas origens e a sua validade, portanto discorrer sobre o conhecimento é a tarefa cabida aos primórdios da filosofia ocidental à ciência epistemológica (DOLLE, 1995).

A epistemologia consiste no estudo do conhecimento, com questões centrais de investigação, por exemplo: Como se formam os nossos conhecimentos? Como aumentam? (DOLLE, 1995). Esses questionamentos eram tratados pela filosofia, porém somente por meio da reflexão. E Piaget, de maneira diferente, situou a epistemologia na experiência científica, partindo da seguinte pergunta: Como aumentam os conhecimentos? Com isso, situou-a em nível interdisciplinar e no nível genético (DOLLE, 1995).

O segundo termo, genética, se refere a gênese, que quer dizer origem, geração, criação; sendo assim, a compreensão da epistemologia genética incide pelo entendimento dos dois

termos: “epistemologia” e “gênese”. Perceba a articulação dos conceitos: episteme (conhecimento), logia (estudos) e gênese (origem) (PIAGET, 1974).

Desse modo, a Epistemologia Genética é um estudo das origens da construção do conhecimento, ou seja, é o “[...] estudo da passagem dos estados inferiores do conhecimento aos estados mais complexos ou rigorosos” (PIAGET, 1974, p. 48).

Para Piaget, esse problema a respeito da construção das estruturas do conhecimento é antigo, mas, mesmo assim, a maioria dos epistemologistas permanece ligada às hipóteses apriorísticas, inatistas e empiristas que subordinam o conhecimento ou no sujeito ou no objeto, negligenciando assim, as questões pertinentes à construção do novo.

O empirismo é a teoria epistemológica do conhecimento que o considera como algo que vem de fora, por meio dos sentidos ou das experiências; logo, a mente da criança é uma “tábula rasa” que ainda não recebeu inscrições, sendo, portanto, passiva e receptiva (MATUI, 1995). Já a proposição da existência de “ideias inatas”, inatismo, é uma das manifestações do racionalismo que valoriza a razão ou o pensamento como fonte do conhecimento. O seu criador na modernidade foi o filósofo René Descartes (MATUI, 1995).

Piaget não concordou com essas posições, pois para ele “[...] o comportamento dos seres vivos nem é inato (Chomsky, Lorenz, gestaltismo, etc.), nem é resultado de codicionamentos (behaviorismo, condutismo)” (LIMA, 1980, p. 13).

Piaget propôs que o conhecimento não vem de dentro nem de fora, mas é construído pelo indivíduo em suas relações com o meio. Ou seja: “[...] O comportamento para ele é *construído* numa interação (cibernética) entre o organismo e o meio: quanto mais complexa é esta interação, mais “inteligente” é o animal (homem)” (LIMA, 1980, p. 13, grifo do autor).

O caráter próprio da epistemologia genética é buscar “[...] distinguir as raízes das diversas variedades de conhecimento a partir de suas formas mais elementares, e acompanhar seu desenvolvimento nos níveis ulteriores até, inclusive o pensamento científico” (PIAGET, 2012, p. 2).

O conhecimento procede de interações produzidas a meio caminho entre o sujeito e objeto, portanto um depende do outro ao mesmo tempo, mas em benefício de um discernimento completo e não apenas de trocas entre formas diferentes (PIAGET, 2012).

Outra característica da epistemologia genética apontada por Piaget (2012) é a sua natureza interdisciplinar, pois sua investigação é envolta por áreas da biologia, filosofia e psicologia. O autor complementa que o problema específico da epistemologia genética é o da passagem de um conhecimento menos elaborado para um saber mais rico, em compreensão e em extensão.

Nas próprias palavras do autor, como toda ciência é um processo em transformação que jamais considera sua posição como definitiva, em sentido amplo o problema genético também engloba o do progresso de todo o conhecimento científico, comportando duas dimensões: a primeira, que depende “[...] de questões de fato (estado dos conhecimentos num determinado nível e passagem de um nível ao seguinte); a outra, de questões de validade (avaliação dos conhecimentos em termos de avanço ou de retrocesso, estrutura formal dos conhecimentos)” (PIAGET, 2012, p. 4).

Epistemologia Genética reporta para o mundo do conhecimento; na busca de compreender a sua gênese/origem do desenvolvimento do sistema cognitivo do sujeito desde o seu nascimento. Sendo assim, a epistemologia genética,

[...] *é naturalista* sem ser positivista, que *coloca em evidência a atividade do sujeito* sem ser idealista, que se apóia igualmente no objeto ao mesmo tempo que o considera um limite (portanto, existindo independentemente de nós mas sem ser completamente alcançado) e que, sobretudo, *vê no conhecimento uma construção contínua*: é este último aspecto da epistemologia genética o que suscita a maioria dos problemas [...] (PIAGET, 2012, p. 6, grifo nosso).

Por meio de diferentes pesquisas, o autor foi capaz de mostrar, em primeiro lugar, que o conhecimento, seguindo suas próprias leis, é construído gradualmente. Em segundo, evolui ao longo da vida por meio de diferentes estágios antes de atingir as características do nível adulto (LES ARCHIVES JEAN PIAGET).

A teoria epistemológica de Piaget contribui para investigarmos o objetivo da pesquisa e responder as perguntas problemas, porque o sujeito poderá ao longo de sua vida, construir distintos esquemas cognitivos para entender e explicar o conceito de aleatoriedade. Pois, como cita Mlodinow (2011, p. 9-10) no prólogo de seu livro: “Os processos aleatórios são fundamentais na natureza, e onipresentes em nossa vida cotidiana; ainda assim, a maioria das pessoas não os compreende nem pensa muito a seu respeito”. Portanto,

[...] em todos os empreendimentos da vida real, a não ser pelo mais simples, não temos como evitar certas forças inesperadas ou imprevisíveis; além disso, essas forças aleatórias e nossas reações a elas são responsáveis por muito do que constitui o trajeto particular que seguimos na vida (MLODINOW, 2011, p. 252).

Diante o evidenciado, Piaget explica que a inteligência humana é sempre a melhor maneira possível de superar uma dificuldade, em se adaptar ao mundo exterior, assim, nos acontecimentos do cotidiano o sujeito vai construindo conhecimentos em sua mente para tentar entender e resolver questões, problemas e tomar decisões.

Assim, desde o nascimento do bebê até a sua adolescência, Piaget elucidou um conjunto de etapas para o desenvolvimento das estruturas da inteligência, eles são mais conhecidos como os quatro estágios cognitivos de Piaget. Para entendê-los, é importante conhecer algumas definições; apresentamos o conceito de inteligência, segundo a sua visão.

3.1.1 A inteligência segundo Jean Piaget

Em colaboração com a esposa Rebecca Suzane, Piaget analisou seus próprios filhos a fim de tentar ver neles como aparecem às primeiras manifestações de inteligência, antes da linguagem; para isso, realizou observações em estado nativo, recolhendo uma considerável massa de observações junto à sua filha primogênita Jacqueline (DOLLE, 1995).

As observações feitas por Piaget permitiram-lhe organizar um “corpus” de situações experimentais sistemáticas, para, depois, observar os demais filhos. Dolle (1995) cita que todo esse trabalho resultou na publicação de dois livros: o primeiro em 1936, “*La naissance de l’intelligence chez l’enfant*” (O nascimento da inteligência na criança) e, no ano seguinte, o segundo livro, “*La construction du réel chez l’enfant*” (A construção do real na criança).

Piaget analisou os comportamentos de seus filhos desde o nascimento até por volta dos dezoito meses; investigou o desenvolvimento da inteligência prática e a função de adaptação em que explica o funcionamento e os progressos intelectuais. Com esse trabalho, Piaget delineou “[...] o desenvolvimento desde os reflexos inatos, passando pelos primeiros modos de comportamento e hábitos aprendidos, até os primeiros atos de representação e juízo correspondentes à idade de um ano e meio” (KESSELRING, 1993, p. 38).

As observações feitas por Piaget demonstraram a flexibilidade do seu método clínico, o qual consiste de uma “[...] conversação livre com a criança sobre um tema dirigido pelo interrogador que acompanha as respostas da criança, pede-lhe que justifique o que diz, que explique, que diga por que, que lhe faz contra sugestões [...]” (DOLLE, 1995, p. 21). Segundo o autor, com um conjunto de hipóteses precisas, Piaget apreendeu condutas com relação à construção do espaço, do tempo, do objeto permanente, condutas de imitação, entre outros. “Além de saber perfeitamente o que devia observar, ele verificava de algum modo ou experimentava uma ideia importante, a saber, que a inteligência é a forma assumida pela adaptação biológica ao nível da espécie” (DOLLE, 1995, p. 29).

Todos os organismos vivos para manter a sua sobrevivência precisam se ajustar ao meio em que estão; Piaget queria saber como o homem desenvolve a inteligência, seu fundamental recurso de adaptação ao meio, portanto, segundo as suas próprias palavras: “A inteligência é

uma adaptação” (PIAGET, 1987, p. 15). Assim, sob o ponto de vista do autor, a inteligência é um tipo particular de adaptação biológica, tendo como objetivo “[...] estruturar o universo tal qual o organismo estrutura o meio imediato” (PIAGET, 1987, p. 15).

Piaget menciona que o organismo, para conseguir se equilibrar com o meio, precisa de recurso, na espécie humana; o recurso para tal equilíbrio é a inteligência. Dentre os quatro fatores do desenvolvimento mental (maturação nervosa, o exercício e a experiência adquirida na ação sobre os objetos, interações e transmissões sociais e equilibração), a equilibração é o fator central, uma vez que ela, além de explicar cada um dos fatores citados, também promove o seu agrupamento e tem a sua própria especificidade que, é a reversibilidade (DOLLE, 1995).

A reversibilidade é a capacidade de desfazer o que foi realizado, seja em ação ou pensamento. “Não sendo um estado de repouso, mas, procedendo de uma adaptação, o equilíbrio possui mobilidade, de tal modo que, na presença de perturbações exteriores, o sujeito procura reduzi-las por compensações de sentido inverso” (DOLLE, 1995, p. 56).

A inteligência é, portanto, a maneira pela qual a ação é organizada, seja ela motora, verbal ou mental, diante de uma situação nova, tendo como finalidade: “[...] a) de *auto organizar-se* para enfrentar a situação e b) de *encontrar um comportamento* (invenção-descoberta) que mantenha o equilíbrio entre o organismo e o meio. A inteligência, pois, é o fulcro da atividade do organismo” [...] (LIMA, 1980, p. 73, grifo do autor).

Segundo Piaget (1987), o organismo, ao se adaptar, constrói novas formas materiais para inseri-las no universo; já a inteligência prolonga tal criação ao construir mentalmente as estruturas capazes de serem aplicadas ao meio.

Entre crianças e adultos também se observa uma construção contínua de estruturas variadas, assim, “[...] no desenvolvimento mental, existem elementos variáveis e outros invariáveis” (PIAGET, 1987, p. 16), por exemplo, os funcionamentos invariantes são situados por duas funções biológicas: a organização e a adaptação.

Para o autor, certos biólogos definem o termo adaptação meramente “[...] pela conservação e a sobrevivência, isto é, o equilíbrio entre o organismo e o meio” (PIAGET, 1987, p. 16), sendo, portanto, necessário diferenciar a adaptação-estado da adaptação-processo. “No estado, nada é claro. Na sequência do processo, as coisas arrumam-se: há adaptação quando o organismo se transforma em função do meio, e essa variação tem por efeito um incremento do intercâmbio entre o meio e aquele, favorável à sua conservação [...]” (PIAGET, 1987, p. 16).

O organismo, para Piaget (1987, p.16), “[...] é um ciclo de processos físico-químicos e cinéticos que, em relação constante com o meio, engendram-se mutuamente”. A organização é uma função relativa do organismo para manter suas partes e o todo. Para melhor compreensão,

Piaget cita o exemplo: sejam os elementos a, b, c , etc., referentes ao organizado e x, y, z etc., os elementos do meio; os processos “ $a + x \rightarrow b$ ” e “ $b + y \rightarrow c$ ”, etc., podem incidir tanto em:

[...] *reações químicas* (quando o organismo ingere substâncias x que ele transformará em substâncias b que fazem parte da sua estrutura), como em *transformações físicas* quaisquer ou, enfim, de um modo particular, em comportamentos sensório-motores (quando um ciclo de movimentos corporais a combinados com os movimentos exteriores x chega a um resultado b que participa igualmente no ciclo de organização) (PIAGET, 1987, p. 17, grifo nosso).

A união desse processo constitui uma relação de assimilação porque o funcionamento do organismo conserva o ciclo de organização, coordenando os elementos dos meios a fim de inseri-los nesse ciclo (PIAGET, 1987).

Quando ocorre variação no meio que transforme x em x' , “ou, o organismo não se adapta e há uma ruptura do ciclo, ou há adaptação, o que significa que o ciclo organizado se modificou ao fechar-se sobre si mesmo” (PIAGET, 1987, p. 17).

De acordo com Piaget (1967, p. 28-29), “se a inteligência é a adaptação, convém, antes, definir esta última. Ora, salvo as dificuldades da linguagem finalista, a adaptação deve ser caracterizada como um equilíbrio entre as ações do organismo sobre o meio e as ações inversas”. Logo, “[...] o que equivale dizer, um equilíbrio das permutas entre o indivíduo e os objetos” (PIAGET, 1967, p. 29).

Dado o exposto, Piaget cita que, “podemos chamar de “assimilação”, empregando tal termo num sentido lato, à ação do organismo sobre os objetos que o rodeiam, entanto que esta ação dependa dos comportamentos anteriores em face dos mesmos objetos ou de outros análogos (PIAGET, 1967, p. 28-29). Portanto, “[...] a assimilação consiste em uma incorporação dos objetos aos esquemas de ação do sujeito. Esses esquemas, que podem ou não se aplicar aos objetos, são passíveis de modificação. Essa modificação é o que Piaget chama de “acomodação” (RAMOZZI-CHIAROTTINO, 1994, p. 10).

Para tanto, “se denominarmos *acomodação* esse resultado das pressões exercidas pelo meio [...], poderemos dizer, portanto, que a *adaptação é um equilíbrio entre a assimilação e a acomodação*” (PIAGET, 1987, p. 17, grifo do autor).

Assim, “[...] a inteligência é assimilação na medida em que incorpora nos seus quadros todo e qualquer dado da experiência” (PIAGET, 1987, p. 17), e ela

[...] nunca pode ser pura, visto que, ao incorporar os novos elementos nos esquemas anteriores, a inteligência modifica incessantemente os últimos para ajustá-los aos novos dados. Mas, inversamente, as coisas nunca são conhecidas em si mesmas, porquanto esse trabalho de acomodação só é possível em função do processo inverso de assimilação (PIAGET, 1987, p. 17).

Para Piaget, o método geral da inteligência é a coordenação desses esquemas, ou seja, é a combinação dos esquemas ou estratégias de ação; por isso, o desenvolvimento da inteligência é um processo de construção, o qual consiste em assimilar e acomodar, isto é, incorporar a realidade e em se modificar para se adaptar à realidade (LIMA, 1980).

É importante entender que “esquema (do grego schêma, “esquema”) é a estrutura sensório-motora e operatória pela qual o sujeito se adapta ao meio e o organiza” (MATUI, 1995, p. 122). Nas palavras de Piaget, esquema é aquilo que é generalizável numa determinada ação, portanto:

O esquema é a condição primeira da ação, ou seja, da troca do organismo com o meio. Ele é engendrado pelo funcionamento geral de toda organização viva, a adaptação. O organismo com sua bagagem hereditária, em contato com o meio, perturba-se, desequilibra-se e, para superar esse desequilíbrio, ou seja, para adaptar-se, constrói esquemas. O esquema tem-se repetido infinitas vezes, “é aquilo que é generalizável numa determinada ação” (PIAGET, 1959 apud RAMOZZI-CHIAROTTINO, 1994, p. 34).

Por meio do esquema de ver (visão), a criança assimila o mundo, as cores, os movimentos e assim sucessivamente; exemplos de esquemas sensoriais: sucção, paladar, audição, percepção autocinética, preensão, entre outros; exemplos de esquemas mentais: reversibilidade, permanência, seriação, classificação, número, tempo, espaço, entre outros; e também há os esquemas, como, conceitos, noções, hipóteses e ideias (MATUI, 1995). “Desde o início do desenvolvimento, a criança apresenta certo número de esquemas. Diante de um objeto novo, ela tenta assimilá-lo a determinado esquema que possui” (MATUI, 1995, p. 122). Ou seja:

Os esquemas são a forma pela qual a criança entra em contato com o mundo. Assim, em presença de cada objeto novo, ela procurará encaixá-lo em seus esquemas, ou seja, “classificá-lo”. A essa modificação, Piaget chama de acomodação dos esquemas [...]. Esta acomodação já testemunha uma atividade do sujeito que reage compensando a resistência do objeto como que para reestabelecer o equilíbrio do organismo perturbado pelo meio. Assim, os esquemas ou assimilam os objetos ou se acomodam a eles, o que quer dizer que se reequilibram por ocasião de cada variação do meio (RAMOZZI-CHIAROTTINO, 1994, p. 36-37).

A inteligência é sempre a melhor maneira possível de superar uma dificuldade, em se adaptar ao mundo exterior (o espaço e o tempo, a causalidade e a substância, a classificação e o número, entre outros); “[...] aí se vê que a inteligência está implícita em tudo que se constrói e em tudo que tem vida. A evolução é um fenômeno molar de inteligência. Cada organismo é a melhor solução frente à agressão do meio” (LIMA, 1980, p. 60).

Piaget, ao estudar o desenvolvimento cognitivo no ser humano a partir das estruturas iniciais do recém-nascido, elaborou um conjunto de quatro estágios característicos: os estágios do desenvolvimento das estruturas da inteligência de Piaget.

3.1.2 Os estágios do desenvolvimento das estruturas da inteligência

Piaget organizou e dividiu em estágios o comportamento intelectual do sujeito desde o seu nascimento até a adolescência; cada estágio é, ao mesmo tempo, o resultado das possibilidades abertas pelo estágio anterior e a condição necessária ao estágio posterior.

Na literatura científica, encontram-se outras denominações para se referir ao termo estágios das estruturas da inteligência, como: estádios de desenvolvimento cognitivo, estágios cognitivos, teoria dos estádios e/ou fases/períodos/etapas/níveis; eles versam sobre o mesmo assunto e constituem o desenvolvimento cognitivo. Todo estágio inicia por uma reorganização, num outro nível, das principais aquisições do estágio anterior. Os esquemas anteriores são modificados, ou seja, o desenvolvimento intelectual é um processo contínuo.

A epistemologia genética de Jean Piaget é fundamentada no conceito de estádios que se sucedem em determinada sequência necessária, com maior ou menor rapidez, de acordo com a maior ou menor atividade do meio físico e social adulto dentro do qual se processa o desenvolvimento (LIMA, 1980).

Piaget (2012) elencou quatro estádios que tratam sobre o estudo do desenvolvimento da inteligência; em cada estágio encontram-se também os subestágios, mas, neste trabalho, elucidamos os quatro estágios sucessivamente, sensório-motor, pré-operatório, operações concretas e as operações formais. Piaget (2012) estruturou cada estágio conforme as idades, mas salientou que é importante apreender que as idades de ocorrência dos estádios são extremamente variáveis de um sujeito a outro.

Desse modo, não se trata, apenas, de apontar fases sucessivas no comportamento, porque pode ocorrer que grande parte dos adultos apresentem comportamentos que se caracterizem em períodos do desenvolvimento chamado infantil, não se sabendo, portanto, mais o que é uma criança (LIMA, 1980).

O primeiro estágio, o sensório-motor, abrange o período de nascimento do bebê até aproximadamente 02 anos de idade (0-24 meses), portanto desde antes da formação da linguagem. Os esquemas neste período são as primeiras configurações de pensamento e expressão, sendo os reflexos hereditários os primeiros esquemas do bebê (PIAGET, 2012).

Segundo Piaget (2012), o estágio sensório-motor é caracterizado por um período desprovido de linguagem, de função simbólica, de representação, de conceitos e de espaço, pois a criança ignora a si mesma.

As características descritas por Piaget no estágio sensório-motor “a priori” impossibilitam a criança elaborar pensamentos ou mesmo atrelar afetividade às representações que lembrem pessoas ou objetos ausentes. Portanto, “[...] tanto no terreno do espaço quanto no das diversas escalas perceptivas em construção, o bebê relaciona tudo ao seu próprio corpo como se fosse o centro do mundo, mas um centro que se ignora” (PIAGET, 2012, p. 10).

Desse modo, o bebê ainda não consegue distinguir entre o que faz parte do seu corpo e o que é do meio exterior, situando-se, então, o conhecido egocentrismo inicial. Portanto, “[...] a ação primitiva é testemunho simultâneo de uma indiferenciação completa entre o subjetivo e o objetivo, e de uma centração fundamental, embora radicalmente inconsciente porque vinculada a essa indiferenciação” (PIAGET, 2012, p. 10).

Ambas, a indiferenciação e a centração das ações primitivas fazem parte das características do estágio sensório-motor: “[...] elas ainda não estão coordenadas entre si, e cada uma constitui um pequeno todo isolável, ligando diretamente o próprio corpo ao objeto (chupar, olhar, agarrar, etc.)” (PIAGET, 2012, p. 10). Portanto, segundo Piaget, tem-se uma falta de indiferenciação porque o sujeito só se afirmará no momento em que conseguir coordenar sozinho suas ações e o objeto somente se constituirá quando num sistema coerente resistir às coordenações de movimento.

Com relação a coordenar ações, Piaget alude que o mesmo “[...] equivale a deslocar objetos e, na medida em que esses deslocamentos são submetidos a coordenações, o “grupo de deslocamentos” progressivamente desse modo permite, em segundo lugar, atribuir aos objetos posições sucessivas que são, elas próprias, determinadas” (PIAGET, 2012, p. 11).

Piaget, com base em Henry Poincaré, utilizou a noção de “grupo de deslocamento” para explicar as possibilidades do comportamento motor do animal e do homem, do ponto de vista da física; ambos são apenas um objeto como qualquer outro existente no espaço e se deslocam segundo as leis gerais, da mecânica e da geometria (DOLLE, 1995).

Desse modo, “quanto mais os movimentos que as crianças realizam (para atingir um objetivo) se aproximam do *grupo de deslocamentos*, de Poincaré, mais alto é o nível de seu comportamento: *inteligência é, apenas, esta operacionalização do comportamento* (DOLLE, 1995, p. 33-34, grifo do autor).

Dado o evidenciado, para Piaget, inteligência “[...] é a flexibilidade que permite formas variadas no comportamento [...]”. Quanto mais variados e coerentes forem os deslocamentos da criança, mais inteligente ela é [...]” (DOLLE, 1995, p. 34).

O desenvolvimento mental no estágio sensório-motor é muito rápido e importante, porque é nele que se desenvolve um conjunto de subestruturas cognitivas hierarquizadas em seis subestádios que consistirão no início de partida das futuras construções perceptivas, intelectuais e também de todo o campo da afetividade (DOLLE, 1995). Com relação aos *seis subestádios* presentes no sensório-motor que ocorrem desde os primeiros meses do nascimento do bebê até os seus dois anos de idade, é importante saber isto:

No decurso dos *dois primeiros*, a assimilação e a acomodação confundem-se e a atividade está centrada no próprio corpo. Com a reação circular do *terceiro estágio* surge a intencionalidade; a assimilação e a acomodação dissociam-se. No *quarto estágio*, a criança pode coordenar os esquemas em face de situações novas. A assimilação e a acomodação equilibram-se, mas com uma tendência da acomodação para suplantar a assimilação. [...]. Aparecem as operações reversíveis. No *quinto estágio*, a acomodação supera a assimilação no campo perceptivo. No *sexto estágio*, a acomodação sobrepuja a assimilação e torna-se representativa (DOLLE, 1995, p. 69-70, grifo nosso).

Para Piaget, no último subestádio, por volta dos dois anos, a criança efetua a transição entre a inteligência sensório-motora e a inteligência representativa, com o aparecimento da função simbólica ou semiótica; este nível é denominado por Piaget de pré-operatório e se inicia no momento em que a criança tem ascensão ao pensamento representativo; logo, o que conseguiu, além de ser conservado, continuará a se desenvolver por si mesmo, reelaborando-se novamente durante as mesmas fases desse novo estágio (DOLLE, 1995).

O estágio pré-operatório ocorre entre dois e sete anos de idade aproximadamente (02-07 anos), fase em que se realiza a transição entre a inteligência sensório-motora e a inteligência representativa; desde os primórdios desse período, apreciáveis progressos são apontados, primeiramente, “[...] o sujeito torna-se rapidamente capaz de inferências elementares, de classificações de configurações espaciais, correspondências [...]” (PIAGET, 2012, p.19).

Em segundo, “[...] desde o surgimento precoce dos “por que”, assiste-se a um começo de explicações causais” (PIAGET, 2012, p. 19). Nesse contexto, “[...] a passagem da ação ao pensamento ou do esquema sensoriomotor ao conceito não se realiza sob a forma de uma revolução brusca, mas, pelo contrário, sob a forma de uma diferenciação lenta e laboriosa, ligada às transformações da assimilação” (PIAGET, 2012, p. 21).

No subestágio correspondente à idade de cinco a seis anos (05-06 anos) se inicia a descentralização, permitindo, assim, a descoberta de certas ligações objetivas, devido ao que

Piaget chama de “funções constituintes”, pois elas só serão constituídas no estágio das operações concretas. Nesse período, não existem as conservações de conjuntos ou de quantidades de matéria. Assim, quando a criança se aproximar de um ponto de ruptura com a reversibilidade lógica é que se terá a imagem subordinada às operações. Passa-se então, para o próximo estágio, o das operações concretas.

O estágio das operações concretas compreende dois subestágios: o primeiro entre 07-08 anos e o segundo entre 09-10 anos; em média, na idade de 07-08 anos as ações interiorizadas ou conceitualizadas adquirem a categoria de operações concretas por meio da aquisição da reversibilidade lógica (PIAGET, 2012).

Este estágio também é conhecido, na literatura científica, como operacional concreto, período operatório, ou operacional e identificado como concreto, porque se refere aos objetos. Desse modo, Piaget elucida que o início do estágio das operações concretas é integrado por três momentos:

O primeiro é o de uma abstração reflexiva que extrai das estruturas inferiores o necessário à construção das superiores; [...]. O segundo momento é o de uma coordenação que visa a abranger a totalidade do sistema e tende assim para o fechamento, ligando entre si essas diversas ordenações ou reuniões parciais, etc. O terceiro momento é então o da auto-regulação desse processo coordenador, culminado na equilibração das conexões segundo os dois sentidos, direto e inverso, da construção [...] (PIAGET, 2012, p. 35).

Para o pesquisador, o alcance desses equilíbrios é que irá caracterizar a passagem do limite que conceberá as próprias inovações desses sistemas em relação aos anteriores e principalmente sua reversibilidade própria.

No subestágio de 07-08 anos, no campo das operações espaciais, “[...] assiste-se à constituição de certas operações relativas às perspectivas e às mudanças de pontos de vista no tocante a um mesmo sujeito cuja posição é modificada em relação ao sujeito” (PIAGET, 2012, p. 42). Somente no subestágio de “[...] 9-10 anos é que se pode falar de uma coordenação dos pontos de vista em relação a um conjunto de objetos [...]” (PIAGET, 2012, p. 42). No que diz respeito às operações lógicas,

[...] a partir dos 7-8 anos, o sujeito é capaz de construir estruturas tanto multiplicativas quanto aditivas: tabela de entrada dupla (matrizes) que envolvem classificações segundo dois critérios simultâneos, correspondências seriais ou seriações duplas (por exemplo, folhas de árvore seriadas na vertical segundo seus tamanhos e na horizontal segundo suas tonalidades mais ou menos escuras) (PIAGET, 2012, p. 42-43).

Para Piaget, em compensação, a partir dos 9-10 anos, nota-se uma capacidade geral para evidenciar covariações quantitativas, sem separar ainda os fatores, mas colocando em contrapartida relações seriadas ou classes.

Com base em Piaget, Lima (1980) menciona que até aproximadamente os onze anos as operações e as estruturas que se constroem são de natureza concreta, as quais continuam ligadas indissoluvelmente à ação da criança sobre os objetos. Consequentemente, a mente cada vez mais móvel, plástica, desenvolve sua operatividade; começando o estabelecimento de pontos de referência, como: dentro/fora, perto/longe, em cima/embaixo, direito a esquerda, entre outros e de combinações, como: encaixes, ordenações e correspondências.

As operações mentais, sendo concretas, organizam o real, o aqui e o agora do ponto de vista da visão de mundo que possuem (operações infralógicas) e do ponto de vista das relações dos objetos entre si, operações lógico-matemáticas (LIMA, 1980).

Conforme a representação do mundo vai perdendo o contato com os objetos (conceitos), o pensamento principiará a trabalhar operativamente com os números possíveis de serem ordenados em coleções discretas (LIMA, 1980). Assim, ao passo que progressivamente as operações concretas se libertarem da função organizadora do real, sucederá o início de sua atuação no campo abstrato, ou seja, para o mundo formal das hipóteses, o próximo estágio de desenvolvimento cognitivo, denominado por Piaget, estágio formal (LIMA, 1980).

A partir do 11-12 anos se inicia o estágio formal; processo que levará as operações a se libertarem progressivamente do contexto psicológico das ações do sujeito para atingir o caráter próprio das ligações lógico-matemáticas (PIAGET, 2012).

Nesse estágio formal, “[...] o conhecimento supera o próprio real para inserir-se no possível e ligar diretamente o possível ao necessário sem a mediação indispensável do conceito [...]” (PIAGET, 2012, p. 48). Para o autor, isso demanda o possível cognitivo, tendo-se, assim, a primeira característica das operações formais: o sujeito tem a habilidade de chegar a conclusões a partir de hipóteses e não somente sobre os objetos; sem precisar de observação e manipulações reais.

Piaget esclarece que a capacidade de desenvolver operações sobre operações é o que proporciona ao conhecimento superar o real, dando-lhe passagem para o caminho indefinido dos possíveis por meio da combinatória; o estágio formal enriquece os conjuntos de partida, ao elaborar “conjuntos de partes”, os quais residem numa combinatória.

Dessa maneira, o pensamento ganha o espaço das possibilidades ao lado da constituição de uma combinatória: a construção de esquemas operatórios formais permitirá a resolução de problemas que até então não se conseguia resolver (PIAGET, 2012).

Tais esquemas caracterizam outra questão fundamental definida pelo autor, a qual passa pela compreensão de duplos sistemas de referência que se referem à união em um só grupo quaternário das invenções e reciprocidades no seio das combinações proposicionais ou de um

conjunto de partes, identificadas como: a operação idêntica (I), a operação inversa (N), a operação recíproca (R) e a operação inversa da recíproca (C).

Conforme Piaget (2012), o grupo INRC, conhecido como grupo de Klein, faz a ligação das operações à segunda potência; o real passa a ser considerado mais como um suporte. Por exemplo:

[...] ao nível da combinatória proposicional, toda a operação como $p \supset q$ comporta uma inversa N , ou seja, $p.\bar{q}$, e uma recíproca R , ou seja, $\bar{p} \supset \bar{q} = q \supset p$, assim como uma correlativa C [...] que é inversa de sua recíproca. Temos então um grupo comutativo, $NR = C$; $CR = N$; $CN = R$ e $NRC = I$, cujas transformações são operações à terceira potência, uma vez que as operações que elas assim ligam já são de segunda potência (PIAGET, 2012, p. 50).

O autor afirma que esse grupo demonstra o que o sujeito é capaz de fazer sempre que distingue uma inversão e uma reciprocidade, para, assim, compô-las entre si, mesmo não possuindo nenhuma consciência enquanto estrutura. Por exemplo:

[...] quando se trata de coordenar dois sistemas de referência, no caso de um objeto móvel A deslocando-se sobre um suporte B , o objeto A pode permanecer no mesmo ponto em referência ao exterior seja por inversão do seu movimento, seja por compensação entre seus deslocamentos e os do suporte [...] (PIAGET, 2012, p. 50).

Nesse contexto, tais composições somente são antecipadas na condição em pauta e aludem ao grupo INRC; o mesmo acontece com os problemas de proporcionalidade, partindo das proporções lógicas próprias a esse grupo (PIAGET, 2012). Para Piaget (2012, p. 53), “ao grupo INRC, corresponde, enfim, a compreensão de um conjunto de estruturas físicas, entre as quais as de ação e reação [...]”.

No pensamento hipotético-dedutivo do adolescente, a ação se transforma em operação-lógico matemática, a qual resiste às limitações da praticidade para experimentar todos os possíveis; quando o formal for controlado por hipótese-experiência, tem-se o método científico; logo, por meio da reflexão o sujeito consegue tornar possível o pensamento matemático, científico e filosófico (LIMA, 1980).

No período formal, ocorre o pleno desenvolvimento da inteligência, e seu desenvolvimento tornou-se possível porque os demais estágios foram atravessados. Portanto tem-se o pensamento abstrato, o qual proporciona ao indivíduo fazer levantamento de hipóteses e para todos os possíveis (LIMA, 1980).

Com a finalização do estágio formal, os sujeitos iniciam um pensamento mais elaborado, com raciocínios abstratos; chega-se à “etapa final” do processo de desenvolvimento da inteligência. Portanto, se os adolescentes, por quaisquer motivos, como a falta de estimulação do meio, não puderem alcançar a operatividade hipotético-dedutiva ou lógico-matemática, a

sociedade perderá sua fonte de transformação, ficando paralisada. “Por aí se vê que a liberdade (a possibilidade de tentar novas soluções e experimentar novos possíveis) é a própria condição da sobrevivência biológica, psicológica e sociológica (a melhor forma de “segurança” – individual ou coletiva)” (LIMA, 1980, p. 228).

Assim, há de se concordar que “[...] a liberdade operativa é a própria forma de ser do jovem, normalmente desenvolvido: fazer o jovem criar hipóteses e experimentar possíveis é o próprio mecanismo de segurança do grupo a que pertence [...]” (LIMA, 1980, p. 228).

Vale lembrar que não há modificações na ordem de sucessão dos estágios de desenvolvimento mental, por exemplo, não se passa do estágio sensório-motor ao concreto sem passar pela representação simbólica do pré-operatório; a sequência do desenvolvimento é universal, a cronologia, no entanto, difere a cada indivíduo (PIAGET, 1987). Portanto, podem-se encontrar pessoas com conhecimentos mais elaborados em determinadas áreas específicas e outras com conhecimento elementar em outras.

É importante saber que esse desenvolvimento não se encerra, ou seja, esse fim não significa a conclusão da evolução dos processos de adaptação, pois nossa espécie evolui. Há, sim, uma continuidade para a construção de conhecimentos pelo sujeito por toda a sua vida.

Com relação ao desenvolvimento das estruturas da inteligência, todos os participantes desta pesquisa (conforme metodologia), teoricamente, chegaram a esse estágio formal delineado por Piaget. Para tanto, como reportado neste capítulo, o acervo bibliográfico das pesquisas realizadas por Piaget e também por ele em conjunto com colaboradores é ampla.

Sendo assim, são descritos no próximo item alguns conceitos investigados por Piaget e Inhelder no livro “*A origem da ideia do acaso na criança*” (PIAGET, INHELDER, 1951). É a partir deste trabalho que estruturamos o desenvolvimento desta pesquisa.

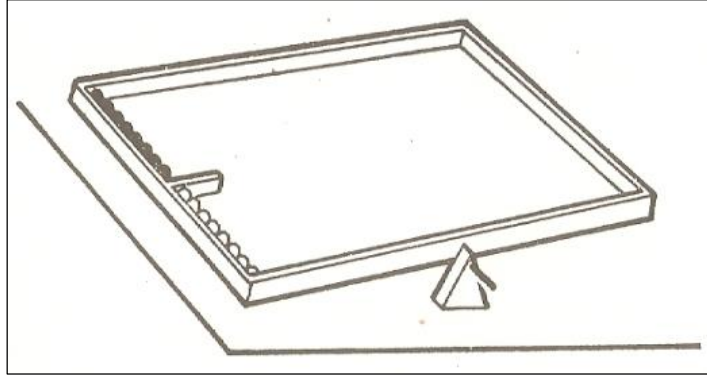
3.2 A ORIGEM DA IDEIA DO ACASO NA CRIANÇA

Após estudar os estágios no desenvolvimento das estruturas da inteligência, Piaget e Inhelder (1951) pesquisaram a origem da concepção de acaso e de probabilidade nas crianças entre 4-5 e 11-12 anos. Predominaram de primeiro estágio as crianças de 4 a 7 anos, segundo estágio as crianças de 7 a 11 anos e terceiro estágio as crianças a partir de 11-12 anos. Para isso, utilizaram vários recursos. A seguir, são elucidados alguns dos recursos utilizados pelos autores e, depois, as suas conclusões gerais.

Primeiramente, para investigar as noções de mistura e de irreversibilidade, empregaram uma caixa retangular com um eixo transversal sobre um dispositivo que a permite oscilar;

quando parada, fica inclinada no sentido de um de seus lados; neste lado, se encontram duas fileiras separadas por uma pequena divisória de madeira, contendo alinhadas 8 esferas vermelhas e 8 brancas, conforme figura 2.

Figura 02: Caixa retangular com 8 esferas vermelhas e 8 brancas

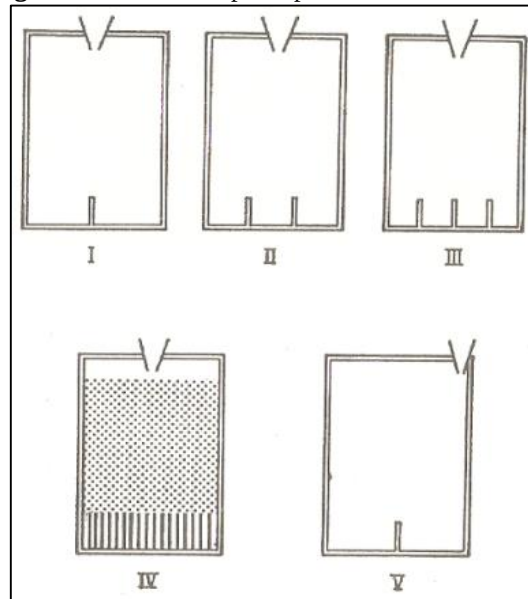


Fonte: Piaget (1951, p. 16)

Essa caixa foi utilizada com o objetivo de determinar se as crianças representariam o produto da brasagem como uma mistura crescente e irreversível, ou se, apesar da desordem aparente, elas imaginariam os objetos misturados como religados ainda por laços ocultos. Para isso, fizeram movimentos progressivos de oscilações, não bruscos, para que as esferas passassem para o lado oposto da caixa e voltassem depois à posição inicial, mas com uma série de permutações possíveis.

Em busca de soluções para os problemas de distribuição centrada e uniforme, investigaram esta questão: “[...] poderá o sujeito imaginar melhor as distribuições de conjunto, seja em função de deslocamentos simétricos dispersos a partir de um centro de origem comum, seja em função de uma dispersão uniforme?” (PIAGET; INHELDER, 1951, p. 49). Essa investigação permitiu aos autores estudar a formação do acaso.

Na sequência, Piaget e Inhelder investigaram as distribuições centralizadas, utilizando cinco caixas (FIG. 3).

Figura 03: Caixa composta por um funil e divisórias

Fonte: Piaget (1951, p. 50)

De acordo com a figura 3, a caixa I foi composta por um funil, com a parte inferior dividida em frente à abertura do funil; a caixa II continha três compartimentos de largura igual, o do meio ficava de frente para o funil; a caixa III continha quatro compartimentos iguais, procedendo da mesma maneira, e a caixa IV continha pregos, com a parte inferior dividida em 18 compartimentos (PIAGET; INHELDER, 1951).

Inicialmente, apresentaram a caixa I para a criança e, em seguida colocaram uma bolinha isolada pelo funil, depois uma segunda, etc.; toda vez perguntavam para qual compartimento iria a bolinha e por quê. Em seguida, soltavam pelo funil sessenta pequenas bilhas de metal bem redondas de diâmetros iguais, pedindo a cada criança que explicassem detalhadamente a dispersão, ou seja, o resultado do experimento.

O experimento foi feito consecutivamente com as caixas II, III e IV; a cada nova caixa examinaram a maneira como a criança empregava suas constatações precedentes. Perguntaram também às crianças se, com a repetição do experimento, se obteria o mesmo resultado ao mesmo tempo com relação às simetrias e quanto aos vértices do amontoamento das bilhas.

Depois, apresentaram a caixa V (FIG. 3) para as crianças preverem e depois explicarem a nova distribuição, resultante da assimetria da figura V e da figura I, mas com o funil em posições diferentes. Por último, as caixas I a IV foram balançadas para a direita ou para a esquerda, solicitando às crianças explicarem o motivo.

Para investigar a dispersão uniforme das gotas de chuva em lajes quadradas, os autores utilizaram um simulador de gotas de chuva, da seguinte forma: uma grande folha de papel branco foi repartida em quadrados de 2-3 cm² simulando um jateamento regular, e algumas

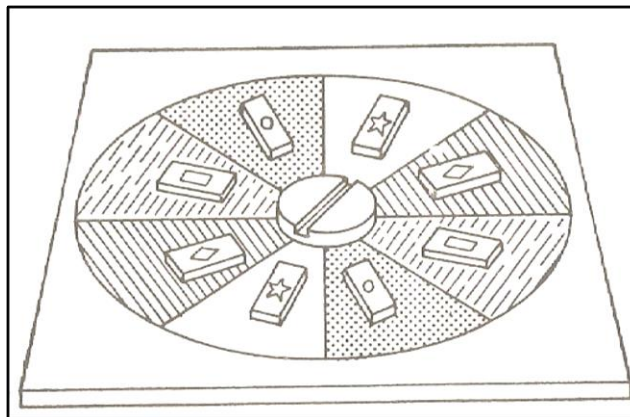
pequenas esferas cúbicas de vidro, com pouca mobilidade, foram lançadas por meio de uma grade que foram sacudidas, representando, assim, as gotas de chuva. O objetivo foi analisar se as crianças conseguiriam prever o local em que as gotas cairiam consecutivamente, se todas as lajes fossem pouco a pouco tocadas, e como se efetuariam a distribuição com o aumento dos números.

Piaget e Inhelder (1951), analisando a maneira por que se constrói a noção de acaso no dia a dia, relataram que não basta estudar somente o que foi descrito até o momento, ou seja, a ideia da mistura e a interpretação das distribuições centralizadas ou uniformes. Por isso, procuraram investigar como o raciocínio do sujeito chegaria a dissociar o que é devido ao acaso e o que é devido a uma relação não casual, numa situação em que os fenômenos fossem ora distribuídos de maneira uniforme, ora polarizados em função de uma causa desconhecida.

Para isso, os autores utilizaram o material apresentado na figura 4, uma prancheta quadrada recoberta por um papel dividido em setores coloridos de diversas tonalidades, como fatias de bolo cortadas a partir do centro. As fatias tinham ângulos iguais para obter as mesmas possibilidades de parada em cada uma delas. “Esses setores são em número de 16 (e, num dispositivo simplificado, de 8), sendo idênticas as cores do que são opostos: há, pois, 8 diferentes cores (4, no outro aparelho), sobre as quais a barra pode parar [...]” (PIAGET; INHELDER, 1951, p. 91).

Além disso, para verificarem a segunda questão, colocaram 8 caixas de fósforos, de aspecto igual sobre cada periferia da prancheta (FIG. 4); em cada caixa de fósforo, inseriram o seguinte: peso A: continha chumbo escondido em cera; peso B: metal mais leve, igualmente em cera; peso C: alguns grãos de metal granulado encobertos na cera; peso D: as últimas com cera pura. Entre as caixas de peso B, sempre com o mesmo aspecto, duas dentre elas continham um ímã invisível, escondido na cera; nada diferenciava das outras caixas do peso B, exceto que os ímãs atraíam a barra de ferro, imobilizando a linha negra sobre a cor escolhida.

Figura 04: Prancheta quadrada recoberta por um papel dividido em setores coloridos



Fonte: Piaget e Inhelder (1951, p. 91)

Piaget e Inhelder (1951), para verificarem como o sujeito perceberia a distribuição aleatória dos pontos de parada, introduziram uma constância inesperada, a fim de checar a previsão probabilista da criança. Então, ao julgarem que a criança realmente tivesse concebido a dispersão das paradas como aleatória, utilizou um ímã que imobilizou de súbito a haste em dado setor (FIG. 4). Em seguida, verificaram se isso bastou para perceber alguma reação da criança e se elas admitiram que uma parada aleatória no mesmo setor pudesse se repetir indefinidamente, o que indicaria para os autores que a criança não teria compreendido a natureza do acaso.

Para tanto, primeiramente, apresentaram, explicaram e deixaram as crianças manipularem a prancheta (FIG. 4). A conversa foi sobre a previsão e distribuição dos pontos de parada. Assim, anotaram com cuidado as reações das crianças durante as “[...] perguntas sobre os grandes números: se multiplicarmos os golpes, como se apresentará a dispersão provável?” (PIAGET; INHELDER, 1951, p. 92). Após a explicação, apresentaram o conjunto das caixas, inclusive as que continham os ímãs.

Segundo Piaget e Inhelder (1951), as crianças, quando buscavam emitir uma nova explicação, em geral pensavam no peso das caixas que imobilizavam a barra negra; portanto deixou-se que às crianças tirassem as caixas do lugar para constatarem se elas manteriam sua indução inicial, uma vez que as caixas contendo chumbo estavam mais pesadas que os ímãs.

Após verificarem a elaboração de certas intuições do acaso em função dos fenômenos físicos, analisaram um segundo aspecto da noção do aleatório: o que se desenvolve na prática dos jogos chamados de azar ou de acaso, pois jogos como de dados, cara ou coroa, ou da extração de tentativas de uma urna, entre outros, comportam um lado material e ainda dependem, em certo sentido, da probabilidade física. Assim, analisaram as “[...] reações da

criança ao jogo de cara ou coroa, ao tirar a sorte em uma urna, e à quantificação das probabilidades em caso de tirar a sorte” (PIAGET; INHELDER, 1951, p. 137).

Para isso, utilizaram duas provas diferentes. Na primeira, apresentaram à criança tentos brancos com uma cruz num dos lados e um círculo noutro lado. Na sequência, jogaram cara ou coroa, para as crianças fazerem a previsão das probabilidades para o lance de 10 a 20 tentos ao mesmo tempo. Após, sem a criança notar a substituição, lançaram uma quinzena de tentos falsificados tendo apenas cruces nos dois lados.

Na segunda prova, utilizaram um saco com bilhas vermelhas e azuis, terminando as previsões e constatações; o saco foi substituído por outro que continha somente bilhas azuis.

Nas duas provas, analisaram as reações das crianças, mostrando o “truque”, caso ainda não tivessem descoberto por si sós. A última experiência foi feita sem deixar a criança saber do retorno ou não da coleção falsificada; para isso, lançaram um a um os tentos marcados ou foram tirados uma a uma as bilhas azuis do segundo saco. Assim, investigaram a partir de que momento e em virtude de que raciocínios a criança teria certeza de que se tratava da coleção de elementos homogêneos.

Piaget e Inhelder (1951, p. 169) relataram que os resultados anteriores os “[...] fizeram enxergar a importância do problema da quantificação progressiva das probabilidades na constituição das noções de acaso”. Essa questão foi retomada mais à frente, pois antes, realizaram “[...] uma experiência que se refere, também, à quantificação, mas que nos permitirá terminar a análise prévia até aqui realizada do conceito combinatório de mistura” (PIAGET; INHELDER, 1951, p. 169).

Sendo assim, os pesquisadores fizeram o seguinte: em uma mesa foi colocada uma numerosa coleção de elementos, $A = 15$ tentos amarelos, $B = 10$ tentos vermelhos, $C = 7$ tentos verdes, $D = 3$ tentos azuis. Após as crianças verem todos os elementos, colocaram os quatro tentos diferentes num saco e misturados. Em seguida, solicitaram que a criança enfiasse a mão no saco e retirasse certo número de pares sucessivos, para preverem o par mais provável. Assim, os elementos aos quais elas iam retirando, eram arrumados bem visivelmente na mesa, de tal forma que pudessem pensar sobre o que ainda restava no saco, mas sem nenhuma explicação a tal respeito.

Os autores concluíram, com relação às observações anteriores, que as noções de acaso e de probabilidade foram de natureza basicamente combinatória. Por isso, eles estudaram nas mesmas crianças o desenvolvimento das operações concretas de combinações, porém ainda sem conhecer o detalhe desta construção operatória, que descrevem mais à frente; foi preciso

distinguir e investigar, a partir dos atuais fatos, a crescente intervenção de esquemas combinatórios nas reações espontâneas das crianças.

Até este momento, Piaget e Inhelder (1951) estudaram as reações das crianças em face de situações físicas nas quais foram instigadas, na experiência cotidiana, a construir a ideia de acaso. Para os autores, as atividades realizadas com as crianças permitiram o seguinte: “[...] colocar o problema: ante uma coleção cujos elementos do estágio I não se ocupam com as quantidades em jogo; os do estágio de 7 a 11 anos dão atenção às quantidades iniciais, mas não às modificações da composição do saco depois de extrações sucessivas e só os do estágio III fazem um cálculo preciso” (p. 190).

Piaget e Inhelder (1951, p. 190) buscaram, em detalhes, “[...] a razão pela qual a criança só tão tarde se dá conta das relações numéricas que, entretanto, condicionam com toda evidência as probabilidades de extração [...]”. Analisaram também “[...] o mecanismo das operações lógico-aritméticas de que dependem os julgamentos de probabilidade” (PIAGET; INHELDER, 1951, p. 190).

Num segundo momento, estudaram o mecanismo da quantificação, analisando as próprias atividades do sujeito relativas ao acaso, ou seja, as várias formas de tirar a sorte. Para isso, apresentaram às crianças “[...] duas coleções de pulgas (tentos) brancas *com ou sem* cruz no verso” (PIAGET; INHELDER, 1951, p. 190, grifo nosso). Toda vez, mostrando para a criança a composição exata das duas coleções, assim, ainda separadas, as duas coleções foram misturadas e, depois, colocadas na mesa, de modo que cada elemento ficasse visível só no rosto. Assim, a criança precisava decidir em qual dos dois conjuntos havia maiores probabilidades de se encontrar uma cruz logo à primeira vez.

Ao término do estudo “tirar a sorte”, confirmou para os autores suas observações do acaso físico, permitindo-lhes “[...] pôr mais a nu os mecanismos operatórios em ação na constituição das noções de acaso e probabilismo físico [...]” (PIAGET; INHELDER, 1951, p. 224). Assim, constataram também “[...] que as noções probabilistas fundamentais só se constroem no nível formal [...]” (p. 224-225). Ou seja, “[...] as operações formais são, psicologicamente, de segunda potência, ou operações que se referem, elas próprias, as outras operações prévias que são as operações concretas” (PIAGET; INHELDER, 1951, p. 225).

Para Piaget e Inhelder (1951), a conclusão das noções probabilistas sugere o recurso às operações combinatórias (combinações, permutações e arranjos). Sendo assim, estudaram que essas operações constituem, em si mesmas, operações de segunda potência, logo precisam de estruturas formais. A compreensão desse mecanismo combinatório vem completar uma

segunda noção de acaso: “[...] a de probabilidade, quer dizer, relação entre as operações consideradas e todas as operações possíveis” (PIAGET; INHELDER, 1951, p. 228).

No que diz respeito às operações de combinações, os autores fizeram o seguinte: colocaram em cima de uma mesa diversos montes de tentos, um monte branco, um monte vermelho, etc. Depois, pediram à criança para construir tantos pares quantos possíveis, de modo que não repetissem do ponto de vista das cores escolhidas (em certos casos, aceitaram pares com as mesmas cores, azul-azul, etc.; de outras vezes, excluíram-nos).

Os autores explicaram que o motivo do caráter tardio, quanto ao início das *operações de permutação* e das *operações combinatórias* em geral, decorre dos dados que apresentaram até o momento, ou seja, o pensamento formal, caracterizado pelas operações de segunda potência.

Para tanto, realizaram estudos sobre combinações e permutações e, depois, examinaram a operação que lhes constitui a síntese, chamada de arranjo. Assim, no arranjo de 2 termos *A* e *B*, adotaram dois a dois, seja, *AA*, *AB*, *BA* e *BB*, têm-se combinações *AA*, *BB* e *AB* e permutações *AB* e *BA*. O estudo desses arranjos permitiu aos pesquisadores, além do entendimento do que foi concluído nos estudos anteriores, a possível correlação que pareceu existir entre o desenvolvimento das operações combinatórias e os progressos da ideia de acaso.

Diante esses fatos, agora, descrevem “[...] o comportamento das crianças acerca das operações de arranjos e dos arranjos fortuitos” (PIAGET; INHELDER, 1951, p. 270). Para isso, utilizaram “[...] um jogo de 78 cartas: 26 cartas com o algarismo 1; 26 com o algarismo 2; e as últimas 26 com o algarismo 3” (PIAGET; INHELDER, 1951, p. 270). Para as crianças que não conheciam os diferentes números que podem compor com 2 dos 3 algarismos 1, 2 e 3, prepararam uma coleção paralela de cartas com 3 séries formadas de 26 locomotivas, 26 vagões de passageiros e de 26 vagões de carga.

As perguntas foram realizadas pelos autores em três partes. A *primeira parte* diz respeito às operações de arranjo. Foram colocadas na mesa as três coleções de cartas, pedindo à criança que as arranjassem com tantos números diferentes de dois algarismos quantos pudessem encontrar ou tantas séries distintas de dois elementos de trem quantas pudessem formar com as cartas.

Na *segunda parte*, as cartas foram misturadas sob os olhos da criança, solicitando que tirassem duas, de modo que realizassem a previsão das quais iriam sair. À medida que as crianças tiravam as cartas, os autores organizaram uma lista dos elementos que saíam, vagões ou números.

Na *terceira parte*, analisaram com a criança o seguinte: uma suposição foi feita com uma cesta cheia com essas mesmas cartas, perguntando se as desigualdades iriam aumentar ou diminuir com esses grandes números.

Piaget e Inhelder (1951) chegaram à conclusão da pesquisa em torno dos três estágios do desenvolvimento da ideia de acaso. Um primeiro fato que causou surpresa para os autores, nas reações das crianças em função da idade, foi a estreita correlação apresentada sobre a formação das noções de acaso e de probabilidade com a das diversas operações de que hoje se conhece da gênese psicológica. Daí, concluem sobre a gênese das operações lógico-aritméticas elementares (grupamentos de classes e de relações, e grupos de números inteiros e fracionários), dos três grandes períodos.

O primeiro período (anterior aos 7-8 anos) foi caracterizado pela ausência de operações, ou seja, de composição reversível; concluindo, em primeiro lugar, que a criança não desconfiou da verdadeira natureza da mistura, procurando sem cessar encontrar, sob a desordem que considerou apenas aparente, uma ordem oculta qualquer baseada nas semelhanças dos elementos, seus arranjos antes da mistura (PIAGET; INHELDER, 1951).

Em segundo, os autores concluíram que a criança não compreendeu a irreversibilidade própria dos processos aleatórios, de maneira especial a irreversibilidade que caracteriza a mistura. Em terceiro, quando se tratava de prever os casos aleatórios isolados, a criança se baseou além das semelhanças, na ordem inicial, etc., também, numa relação que voltava frequentemente e que, à primeira vista, pode ser parecida de natureza probabilista: a compensação.

Em quarto, observaram um início de simetria nas repartições centralizadas, do tipo sino, mas isso ocorreu sempre apenas para os números pequenos; a criança não imaginou a necessidade de uma simetria entre os valores opostos. Em quinto lugar, quando a criança não previu os casos aleatórios isolados baseando-se na compensação, lhe aconteceu frequentemente basear suas previsões nas maiores frequências analisadas até então. Em sexto, as crianças revelaram ser ainda tudo indutivo, pois não houve acaso nem dedução, mas simples intuição das regularidades reais ou imaginárias. Em sétimo, por falta de dedução operatória e de qualquer noção de acaso, a criança desse estágio não se espantou com “milagres”.

Em oitavo, a ausência de encaixes operatórios foi marcada nitidamente nas questões de quantificações das probabilidades no sentido estrito; a ausência de encaixes operatórios explicou que as previsões da criança não apresentam ainda nenhuma estrutura probabilista de relação entre a parte (casos favoráveis) e o todo (casos possíveis). Em nono lugar, e com maior

razão, não foi descoberto ainda nesse estágio nenhum raciocínio relativo ao conjunto do campo de dispersão (grandes números, etc.).

Finalizando as conclusões desse primeiro período, os autores descreveram que os dados analisados foram explicados “[...] em todos os seus detalhes pelo nível pré-operatório da criança como pela natureza não diferenciada de suas intuições, baseadas em sua atividade própria e imediata, e não ainda numa coordenação das ações em operações reversíveis” (PIAGET; INHELDER, 1951, p. 303).

Segundo os autores, o início das operações concretas forneceu a descoberta do acaso, por antítese com a necessidade dedutiva, enquanto a ausência de operações formais explicou a falta de síntese entre o acaso e os mecanismos operatórios, sob a forma de um sistema de composição probabilista.

O segundo período, que vai de 7-8 a 11-12 anos, foi caracterizado “[...] pela construção dos grupamentos operatórios de ordem lógica e grupos numéricos, porém num plano essencialmente concreto, ou seja, relativo a objetos manipuláveis representáveis no detalhe de suas relações reais” (PIAGET; INHELDER, 1951, p. 294). Conforme os autores, este segundo período foi caracterizado pela descoberta do acaso e “[...] também pela ausência de qualquer composição probabilista baseada na análise combinatória sistemática, tal como a encontraremos no decurso do terceiro período” (p. 309).

Assim, os autores resumiram que, após as crianças terem diferenciado o possível do necessário, elas fracassaram ao efetuarem uma análise exaustiva do possível. Este fato decorreu em função do desenvolvimento operatório, pois, “o pensamento que tem por objeto o possível é, com efeito, o pensamento formal, cuja característica é precisamente ser hipotético-dedutivo, isto é, operar sobre simples possibilidades tratadas como hipóteses” (PIAGET; INHELDER, 1951, p. 310). Portanto, para Piaget e Inhelder (1951), esses dados foram naturais porque, após as crianças terem descoberto o possível, elas só poderiam, inicialmente, pensar intuitivamente, por analogia com as operações concretas que se referem ao real.

O terceiro período, que se inicia a partir de 11-12 anos, foi caracterizado “[...] pelo pensamento formal, quer dizer, pela possibilidade de ligar um ao outro um ou vários sistemas de operações concretas ao mesmo tempo, e traduzi-los em termos de implicações hipotético-dedutivas, isto é, de lógica de proposições” (PIAGET; INHELDER, 1951, p. 294).

Para Piaget e Inhelder (1951, p. 313), o caso mais notável foi o da mistura, pois “nada é mais imprevisível e indeterminado que os inúmeros encontrões possíveis entre doze esferas que se entrechocam durante o movimento de oscilação transmitido ao recipiente, bem como as trajetórias modificadas por esses choques”.

Porém as crianças, de posse das operações de permutação, representaram em seus desenhos das trajetórias a mistura como sendo o resultado de uma ação embaralhada dos doze elementos de todas as maneiras possíveis (PIAGET; INHELDER, 1951).

Conforme os autores, como o acaso não é um sistema operatório, ficou entendido que as permutações invisíveis permaneceram aleatórias, ou seja, ao invés de terem sido efetuadas segundo uma ordem sistemática, foram feitas em desordem e, principalmente, se concretizaram somente certas possibilidades.

De acordo com Piaget e Inhelder (1951), o cálculo sistemático fornece o conjunto das possibilidades simultâneas; o acaso realiza algumas, cada uma por sua vez, mas não criando nada a mais, ficando no quadro das possibilidades deduzidas; sua única originalidade reside em ser desordenado e incompleto.

Os autores revelaram que a saída de um par de bolas de um saco que continha várias cores poderia ser feita segundo todas as combinações duas a duas, pois “A operação prevê o conjunto das possibilidades, entre as quais o acaso retém certos casos, assim tornados reais, mas estes tampouco ultrapassarão aqueles” (PIAGET; INHELDER, 1951, p. 314). Resumidamente:

[...] ao invés de conservar ao acaso seu caráter imprevisível e incompreensível em si, o espírito o traduz sob a forma de um sistema de operações, porém incompletas e, elas mesmas, efetuadas sem ordem. O acaso subsiste assim, porém, ao deslocar-se no terreno das operações, ganha em inteligibilidade [...] (PIAGET; INHELDER, 1951, p. 314).

De acordo com os autores, é partindo daí que se elabora a composição probabilista e, assim, citam novamente, como exemplo crucial, o caso da mistura: “[...] por ser a mistura um processo irreversível, ao passo que o sistema das operações de permutações –ao qual é assimilada por analogia – é em compensação inteiramente reversível, a ponto de as permutações formarem um <grupo> matematicamente típico” (PIAGET; INHELDER, 1951, p. 314).

É importante entender que “as operações levam à determinação do conjunto dos casos possíveis, se bem que cada um deles permaneça indeterminado quanto à sua realização” (PIAGET; INHELDER, 1951, p. 314). Portanto, “a probabilidade consiste então em julgar casos isolados por analogia a este conjunto, o que em parte os determina e lhes confere um coeficiente fracionário de realização” (PIAGET; INHELDER, 1951, p. 314-315).

Este terceiro período, segundo os autores, é marcado por um duplo progresso: “[...] a estruturação das totalidades levando à lei dos grandes números, e a probabilidade dos casos isolados em função do conjunto. Esses dois caracteres reunidos constituem a composição probabilista” (PIAGET; INHELDER, 1951, p. 315).

Assim, Piaget e Inhelder (1951) concluíram que a composição probabilista, neste terceiro período, consiste de uma síntese do possível e do próprio acaso no qual a criança respeita o caráter incomponível e irreversível do acaso, designando para as operações combinatórias que são componíveis e reversíveis o papel de uma determinação inteiramente dedutiva das possibilidades como tais.

A crescente presença da Matemática em vários campos da atividade humana, principalmente com o advento da era tecnológica, levou o Brasil e outros países a discutirem a Educação Matemática (BRASIL, 1998). Tais discussões proporcionou às pessoas do âmbito educacional brasileiro analisar e rever os currículos de Matemática no ensino fundamental.

Reportamos para algumas finalidades descritas nos PCN, como a inserção do assunto *Tratamento da Informação* (Ensino de Probabilidade integra estudos relativos a noções de probabilidade, estatística e combinatória) como um bloco de conteúdos nos currículos de matemática para o ensino fundamental, a fim de permitir “[...] ao cidadão “tratar” as informações que recebe cotidianamente, aprendendo a lidar com dados estatísticos, tabelas e gráficos, a raciocinar utilizando ideias relativas à probabilidade e à combinatória” (BRASIL, 1998, p. 49). Assim:

Com relação à probabilidade, a principal finalidade é a de que o aluno compreenda que muitos dos acontecimentos do cotidiano são de natureza aleatória e que se podem identificar possíveis resultados desses acontecimentos e até estimar o grau da possibilidade acerca do resultado de um deles (BRASIL, 1998, p. 52).

Com base nos PCN, os alunos, ao desenvolverem noções de probabilidade, estarão aptos a determinar as possíveis ocorrências de eventos, como moedas, dados, cartas e, assim, “[...] ir se familiarizando com o modo como a Matemática é usada para fazer previsões e perceber a importância da probabilidade na vida cotidiana” (BRASIL, 1998, p. 70).

Na China, Jun (2000), em uma pesquisa de doutorado, investigou, em cursos da área de ciências do ensino superior, compreensões de alunos chineses sobre o conceito de probabilidade. Para Jun (2000), a alfabetização básica em uma sociedade moderna requer das pessoas a capacidade de fazer juízos em condições de incerteza, por isso muitos países têm incluído, ou pelo menos recomendado, a inserção do tema probabilidade no currículo escolar.

Jun (2000) concluiu que os estudos a respeito do desenvolvimento da compreensão de probabilidade se mostraram possíveis de serem introduzidos na escola primária e nos currículos das escolas secundárias. Para isso, é preciso se concentrar em ideias e atividades probabilísticas ao invés de efetuar somente cálculos e fórmulas (JUN, 2000).

A abordagem de conceitos, ideias e métodos sob a perspectiva de resolução de problemas é apontada pelos PCNs como uma das alternativas para romper com o ensino apenas de cálculos e fórmulas (BRASIL, 1998).

Dado o evidenciado, Bernardes (1987, p. 13) refletindo a respeito desse assunto, afirma que, “[...] se o ensino da Matemática se deve ocupar mais da tomada consciente de decisões do que do estrito cálculo, então a teoria das probabilidades é fundamental”.

Neste contexto, Lopes, Teodoro e Rezende (2011) empregaram a metodologia de resolução de problemas para investigar se o uso de jogos contribuiria com o ensino e a aprendizagem de alunos do segundo ano do ensino médio com relação aos conceitos básicos de probabilidade. Os autores concluíram que as aulas se tornaram mais prazerosas porque levaram os alunos a participarem ativamente no desenvolvimento de seu próprio saber.

Lopes (1998, 2003, 2008) trabalhou com a probabilidade e a estatística, e uma questão fundamental foi apontada pela pesquisadora: a importância da integração entre as disciplinas, Biologia, Física, Química, Geografia, entre outras, pois fazem uso constante da linguagem matemática. Portanto, “ao estudar probabilidade e chance, os alunos precisam entender conceitos e palavras relacionadas à chance, incerteza e aleatoriedade, que aparecem nas nossas vidas diariamente, particularmente na mídia” (LOPES, 2008, p. 70).

De acordo com Lopes (2008, p. 70), é preciso compreender “[...] que probabilidade é uma medida de incerteza, que modelos são úteis para simular eventos para estimar probabilidades e que, algumas vezes, as nossas intuições são incorretas e podem nos levar à conclusão errada no que se refere à probabilidade e eventos de chance”.

Lopes (2008, p. 63) ressalta ainda [...] que o ensino da estocástica deve propiciar ao estudante situações que lhe permitam a superação do determinismo em favor da aleatoriedade”. Acreditamos também ser “[...] necessário trabalharmos dentro do currículo de Matemática com situações que envolvam as ideias de acaso e de aleatório, pois, do contrário, estaremos reduzindo o ensino desta ao verdadeiro e falso de suas proposições” (LOPES, 2008, p. 63).

Nesse caso, “as noções de acaso e incerteza, que se manifestam intuitivamente, podem ser exploradas na escola, em situações em que o aluno realiza experimentos e observa eventos (em espaços equiprováveis)” (BRASIL, 1998, p. 52).

Outra questão importante encontrada em algumas pesquisas é com relação à formação inicial de professores dos anos iniciais (1º ano ao 5º ano) e finais (6º ao 9º) que lecionam o conteúdo de probabilidade. Santana e Borba (2010), Santana (2011) apontam que para se trabalhar significativamente esse assunto em sala de aula é preciso capacitar o docente quanto

à compreensão do conceito de probabilidade desde sua formação inicial, para posteriormente poder ensinar os seus futuros alunos.

Estevam e Cyrino (2014) desenvolveram um estudo documental, interpretando 23 teses e dissertações entre os anos de 1998 a 2011 na área de Educação Estatística e formação de professores de Matemática. Dentre as conclusões dos autores, assinalamos a questão quanto à existência de poucas pesquisas direcionadas a formação de professores para trabalhar conceitos, ideias e habilidades estocásticos no Brasil.

Apresentamos também alguns trabalhos desenvolvidos de acordo com a Teoria Epistemológica de Jean Piaget, pois, segundo Silva (2014), no Brasil, há poucas pesquisas fundamentadas na teoria piagetiana sobre o funcionamento cognitivo do adulto, principalmente para alunos matriculados em curso de Educação de Jovens e Adultos (EJA). A autora reporta em sua pesquisa para o problema de evasão de alunos da EJA, fazendo vários questionamentos:

[...] há alguma especificidade na aprendizagem de tais conteúdos que justifique esse índice de fracasso tão elevado nessa população. Estaria a questão no sujeito? Haveria alguma particularidade no desenvolvimento cognitivo do adulto do Proeja que dificultaria essa aprendizagem? Estariam os conhecimentos prévios interferindo na aprendizagem dos novos conteúdos? Ou estaria a questão no objeto? Poderíamos dizer que haveria conteúdos mais “resistentes” à assimilação? (SILVA, 2014, p. 30).

Silva (2014) buscou uma aproximação com o problema da aprendizagem dos conteúdos escolares dos alunos da EJA como entrave à sua assimilação. Assim, de posse da suposição de que o nível de abstração dos conteúdos das matérias de física, química, matemática e biologia poderia estar relacionado a este fato, avaliou tal hipótese, realizando um levantamento inicial dos conteúdos considerados mais difíceis bem como o motivo das dificuldades nas matérias de química, física, biologia e matemática na visão de alunos e professores.

De acordo com a autora, também citamos algumas pesquisas que retratam as dificuldades dos sujeitos em operar com conhecimentos abstratos, como Mendes (2007), Farinaccio (2006), Ortiz (2002).

Silva (2014) investigou a lógica inferencial das ações e suas significações em situações que mobilizaram as noções de composição probabilística e acaso e o papel dos modelos de significação no funcionamento cognitivo do adulto de 12 estudantes de um curso técnico de EJA. Para isso, realizou entrevistas semiestruturadas e jogos via computador. Sua pesquisa está organizada no formato de quatro artigos científicos, cada qual com seu objetivo.

No primeiro, objetivou “[...] examinar as implicações dos modelos de significação e representações prévias no pensamento do adulto” (SILVA, 2014, p. 44). Concluiu que, para o

sujeito se desenvolver, é preciso lhe proporcionar situações nas quais ele possa significar o aspecto particular da realidade para construir os modelos de significação apropriados.

No segundo artigo, Silva (2014) investigou os modelos de significação, os procedimentos e as razões por meio de um jogo de computador que envolveu a noção de combinatória em situação de incerteza. Segundo a autora, os alunos revelaram em suas respostas uma maneira ingênua, mesmo com educação formal sobre o tema, “[...] o que pode ter ocorrido porque houve acomodação na forma de criação de novos esquemas que não foram generalizados para a situação de jogo ou porque houve assimilação deformante devido a uma insuficiência cognitiva” (SILVA, 2014, p. 105).

No terceiro artigo, Silva (2014) investigou “[...] como sujeitos adultos com escolarização atípica agem e significam em uma atividade que apresenta situações nas quais a causalidade não pode ser imediatamente atribuída [...]”. Assim, concluiu que a compreensão da noção de probabilidade dos sujeitos pesquisados, longe do esperado pela idade e escolarização, apresentou “[...] uma demanda insuficiente para a explicação do real por parte do sujeito, o que não contribui suficientemente para seu desenvolvimento cognitivo” (SILVA, 2014, p. 113).

No último artigo, Silva (2014, p. 153), sob a teoria de Piaget, “[...] investigou a construção de modelos de significação na mobilização das noções de combinação, probabilidade e acaso [...] e seu papel na compreensão de suas inter-relações [...]”. A pesquisadora concluiu que para os alunos se os fenômenos “[...] são aleatórios é impossível sua explicação causal, atribuindo os resultados à sorte ou a intuições que não necessariamente precisam ser lógicas” (SILVA, 2014, p. 153).

Em outra pesquisa, Paiva (1981), sobre o desenvolvimento do pensamento adolescente, investigou a aquisição do conceito de probabilidade de 202 sujeitos de ambos os sexos com a idade de 11 anos e 1 mês a 16 anos e 6 meses.

Paiva (1981) chegou à mesma conclusão de Piaget, ou seja, a ideia de acaso evolui gradativamente e só se consolida numa etapa avançada do desenvolvimento intelectual, aparecendo relativamente tarde, sendo descoberta em oposição às operações dedutivas. A autora também verificou em seus dados que somente os sujeitos de 15-16 anos resolveram o problema de forma certa em uma prova aplicada de quantificação de probabilidades.

Carvalho (1983) reporta para o trabalho terminado de Sonia K. Teixeira, integrante de um grupo que estudou a formação e evolução dos modelos conceituais espontâneos. O problema investigado foi entender como as crianças e adolescentes explicam, como veem objetos luminosos e iluminados. Para isso, “[...] mostraram uma brasa de palito de fósforo a cerca de 50 cm do sujeito, depois se apresentava uma pequena lanterna a essa mesma distância e em

seguida levava-se a lanterna a uma distância de alguns metros”. Desse modo, perguntou-se: “Tem luz na brasa? Tem luz saindo da brasa? A luz que sai da brasa chega aos seus olhos? Como você sabe? Até onde ela está mandando a luz?” (CARVALHO, 1983, p. 66-67).

Carvalho (1983), nas duas situações com as lanternas, fez perguntas semelhantes. Agora, a investigação sobre o problema da visão de corpos não luminosos foi: Como você consegue enxergar esta borracha? Além disso, foi solicitado ao sujeito que desenhasse ele vendo a borracha. A autora concluiu que dos trinta pesquisados, apenas dois apresentaram um modelo de visão semelhante ao do físico; os demais, independentemente da idade e da escolaridade, apresentaram um modelo espontâneo distinto do que um professor de física espera.

Cirino (2007), em sua pesquisa, adaptou alguns recursos utilizados por Piaget e Inhelder (1951), para investigar como estudantes do ensino médio se apropriam de conceitos e elaboram determinados modelos inseridos no conteúdo de Cinética Química - o modelo cinético de colisão de partículas numa reação. O autor concluiu que os dados obtidos, junto aos 15 estudantes entre 16 e 19 anos (10 rapazes e 5 moças) da 3ª série do Ensino Médio de uma escola particular da cidade de Marília (SP), assinalaram para grandes oposições entre o modelo cinético de colisões elaborado pelos sujeitos e o cientificamente aceito.

Diante dos fatos, também compactuamos com a ideia de Carvalho (1983) de que não somente os conteúdos de Química, mas os do ensino dessa disciplina em si e de outras áreas do saber, requerem dos alunos uma série de operações no nível formal, para compreenderem os conceitos que lhe são apresentados.

Assim, conforme o objetivo descrito nesta pesquisa, utilizamos como ferramenta para coletar os dados etapas construídas de um jogo digital e sua aplicação após finalizado. Como parte integrante da fundamentação teórica do trabalho, no capítulo seguinte, elucidaremos alguns conceitos relacionados aos jogos.

4 JOGO

Ao longo dos tempos, a humanidade e os jogos vêm evoluindo simultaneamente, e, na era tecnológica na qual vivemos, não poderia ser diferente, uma vez que o advento das tecnologias de informação e comunicação tem proporcionado cada vez mais a inserção dos jogos digitais tanto como forma de entretenimento no quotidiano das pessoas como também ferramentas para a aprendizagem de conceitos científicos.

Sendo assim, neste tópico apresentamos, primeiramente, algumas definições para o conceito de jogo; depois, elucidamos o conceito de jogo digital e, para finalizar o capítulo, descrevemos a aprendizagem baseada em jogos digitais.

4.1 O CONCEITO DE JOGO

O conceito de jogo assume várias abordagens na literatura mundial; no caso do Brasil, a sua definição se torna mais difícil por causa do uso de palavras com significados idênticos ou muito parecidos, mas que, na verdade, não o são. Um exemplo característico é com relação à palavra carteira, pois temos a carteira: de motorista, escolar, de identidade, de habilitação, entre outros. Logo, é preciso definir o contexto antes de empregar a palavra.

Huizinga (2012) busca entender e refletir sobre o jogo como elemento da cultura, esclarecendo que a palavra cultura se torna apenas um termo que a sociedade histórica atribui a determinados aspectos. “Encontramos o jogo na cultura, como um elemento dado existente antes da própria cultura, acompanhando-a e marcando-a desde as mais distantes origens até a fase de civilização em que agora nos encontramos” (HUIZINGA, 2012, p. 6).

Assim, podemos encontrar definições divergentes, tentando definir a função biológica do jogo; por exemplo, conforme Huizinga (2012, p. 4), “a psicologia e a fisiologia procuram observar, descrever e explicar o jogo dos animais, crianças e adultos. Procuram determinar a natureza e o significado do jogo, atribuindo-lhe um lugar no sistema da vida”. Desse modo, Huizinga (2012, p. 4) explica que, “umas definem as origens e fundamentos do jogo em termos de descarga da energia vital superabundante, outra como satisfação de certo “instinto de imitação”, ou ainda simplesmente como uma “necessidade” de distensão”. Ainda há outras explicações para conceituar o jogo, como:

Segundo uma teoria, o jogo constitui uma preparação do jovem para as tarefas sérias que mais tarde a vida dele exigirá, segundo outra, trata-se de um exercício de autocontrole indispensável ao indivíduo. Outras veem o princípio do jogo como um

impulso inato para exercer certa faculdade, ou como desejo de dominar ou competir [...] (HUIZINGA, 2012, p. 4).

Essas explicações se completam, mas não nos aproximam de uma correta compreensão do conceito do jogo; tendo elas em comum um elemento que é alguma espécie de finalidade biológica (HUIZINGA, 2012). Então, o que obtemos são algumas características próprias do jogo em geral: a primeira, fundamental do jogo, é a liberdade e a segunda “[...] é que o jogo não é vida “corrente” nem vida “real”. Pelo contrário, trata-se de uma evasão da vida “real” para uma esfera temporária de atividade com orientação própria” (HUIZINGA, 2012, p. 11).

De acordo com Huizinga (2012), seguem no quadro 1, características do jogo.

Quadro 01: Características formais do jogo

O jogo é uma atividade:	Livre.
	“Não séria” e exterior à vida habitual.
	Capaz de absorver o jogador de maneira intensa e total.
	Desligada de todo e qualquer interesse material, com a qual não se pode obter qualquer lucro.
	Praticada dentro de limites espaciais e temporais próprios.
	Que segue certa ordem e certas regras.
	Que promove a formação de grupos sociais.

Fonte: Huizinga (2012)

Conforme Huizinga (2012, p. 24), a característica mais importante é a separação espacial em relação à vida quotidiana porque “[...] qualquer momento é possível à “vida quotidiana” reafirmar seus direitos [...] que venha interromper o jogo, ou devido a uma quebra das regras, ou então do interior, devido ao afrouxamento do espírito do jogo, a uma desilusão, um desencanto”.

Kishimoto (2011) também cita que o termo jogo pode assumir vários significados, tornando sua definição um tanto quanto complexa; esta dificuldade aumenta quando uma mesma situação é vista como jogo ou não jogo, como, por exemplo, em diferentes culturas, como no caso dos índios, quando a criança atira com arco e flechas em pequenos animais é um não jogo, porque está se preparando para a subsistência da tribo e, para outro observador, poderá ser um jogo, porque nessa ação a criança estará se divertindo, brincando.

No Brasil, é mais difícil ainda definir a palavra jogo por causa de sua característica polissêmica, ou seja, dependendo da linguagem e do contexto social, ela terá um significado (SOARES, 2013). Por exemplo, atente para isto:

O jogo pode ser político, quando se imagina a astúcia de parlamentares ou a suas estratégias. Jogos de faz de conta, em que há forte presença do imaginário. O xadrez, o jogo de damas e o gamão, nos quais há perdedores e ganhadores, o uso de tabuleiro é também composto de estratégias e de astúcia. Manipulação de pedras e areia para passar o tempo assim como jogar pedras na água, também são particularidades do jogo. Há, ainda, principalmente, o uso linguístico às vezes inadequado, como por exemplo, dizemos ter um jogo de facas, um jogo de panelas, ou ainda que tudo esteja relacionado com o jogo empresarial ou ao jogo do amor (SOARES, 2013, p. 34).

É preciso situar a finalidade na qual vai ser empregada a palavra jogo, para, assim, defini-la, ou seja, conforme Kishimoto (2011, p. 3): “[...] é preciso, antes de tudo, identificar as características comuns que permitem classificar situações entendidas como jogo nessa grande família [...]” reportada acima.

Outra questão apontada por Kishimoto (2011) com relação à dificuldade de conceituar jogo é porque palavra, como brinquedo e brincadeira, têm sido utilizadas como sinônimos, ou seja, têm assumido o mesmo significado que jogo.

Prensky (2012) traz a questão da diversão, relatando que, assim como ela e as brincadeiras, o jogo é uma palavra de vários significados e implicações, sendo os jogos um subconjunto dos dois, da diversão e das brincadeiras.

Até o momento, palavras como brinquedo, brincadeira, brincar e diversão foram reveladas ao definir jogo. Soares (2013) também cita que é difícil discernir jogo, atividade lúdica, brinquedo e brincadeira.

A palavra lúdica está presente entre alguns dos termos descritos acima reportando para a presença da ludicidade nos jogos. Huizinga (2012), em sua obra “Homo Ludens”, explica que o elemento lúdico foi surgindo como base no desenvolvimento da civilização, revelando o jogo como elemento da cultura humana. Portanto, “mesmo as atividades que visam à satisfação imediata das necessidades vitais, como por exemplo, a caça tende a assumir nas sociedades primitivas uma forma lúdica” (HUIZINGA, 2012, p. 53). Ou seja, em suas formas mais primitivas, a cultura possui um caráter lúdico, o qual se constitui de acordo com as formas do jogo e no ambiente do jogo.

Segundo Soares (2013, p. 50), o termo jogo é empregado como sinônimo de atividades lúdicas, não só no Brasil, mas também em outros países, pois “[...] jogo é tudo aquilo que é lúdico e divertido, em suas várias facetas e que, em nosso caso, será utilizado para ensinar Química”.

Neste trabalho, que também visa à área da educação em química, o termo jogo será utilizado “[...] quando se referir a uma descrição de uma ação lúdica envolvendo situações

estruturadas pelo próprio tipo de material como no xadrez, trilha e dominó em que há regras organizadas que definem a ocasião lúdica (KISHIMOTO, 2011).

Assim, entendemos que o aspecto lúdico é uma das características que deve permear o jogo nas atividades com crianças, jovens e com os adultos, pois, conforme Soares (2013), a ludicidade é uma necessidade do ser humano em qualquer idade, não podendo ser vista apenas como diversão, porque os jogos se caracterizam pelo prazer e pelo esforço espontâneo.

De acordo com Kishimoto (2011), é preciso analisar dois elementos-chave para obter a dimensão completa do jogo: primeiro, a situação concreta, a qual pode ser observada, entendida como jogo, e a segunda, a atitude mental da pessoa, envolvida na atividade. O autor completa:

Nem sempre, a conduta observada por um pesquisador é jogo, uma vez que se pode manifestar um comportamento que, externamente, tem a semelhança de jogo, mas não está presente a motivação interna para o lúdico. É preciso, também, estar em perfeita simbiose com o jogador para identificar, em sua atitude, o envolvimento no jogo (KISHIMOTO, 2011, p. 5).

Soares (2013), para entender melhor essas questões, separou e definiu por meio de suas pesquisas os quatro termos: jogo, atividade lúdica, brinquedo e brincadeira, da seguinte maneira:

- Jogo é qualquer atividade lúdica que tenha regras claras e explícitas, estabelecidas na sociedade, de uso comum e tradicionalmente aceitas, sejam de competição ou de cooperação. [...] exemplos, [...] o futebol, o basquete, alguns jogos de cartas de regras iguais em todo o mundo [...] assim como vários jogos de videogame, podendo também constar de simulações lúdicas.
- Brincadeira é qualquer atividade lúdica em que as regras sejam claras, no entanto, estabelecidas em grupos sociais menores e que diferem de lugar para lugar, de região para região sejam de competição ou cooperação. [...] exemplo [...] a pelada [...] que tem regras consensuais, mas pode mudar de bairro para bairro ou, ainda, a tradicional brincadeira de tacos [...] que muda de cidade para cidade [...].
- Brinquedo é o lugar/objeto/espaco no qual se faz o jogo ou a brincadeira. [...] exemplo [...] a bola, os tacos, as peças de um tabuleiro, o próprio tabuleiro, o campo de futebol [...].
- Atividade Lúdica, portanto, seria qualquer atividade prazerosa, livre e voluntária, com regras explícitas e implícitas (SOARES, 2013, p. 49).

Desse modo, Kishimoto menciona que “[...] brinquedo será entendido sempre como objeto, suporte de brincadeira, brincadeira como a descrição de uma conduta estruturada, com regras e jogo infantil para designar tanto o objeto e as regras do jogo da criança” (2011, p. 7).

Prensky (2012) assegura que o motivo pelo qual se envolvem nos jogos e atraí as pessoas sem mesmo elas perceberem, primeiramente está a diversão e a brincadeira; após estão os seis elementos estruturais, como as regras, metas ou objetivos, resultados e “feedback”, conflito/competição/desafio/oposição, interação, representação ou enredo.

De acordo com Prensky, as regras são as responsáveis por diferenciar os jogos de outros tipos de brincadeira; então, se o jogo não tiver regras, ele não se caracterizará como jogo, tornando-se apenas uma brincadeira livre.

Já os objetivos costumam ser revelados no início das regras; por exemplo: alcançar a pontuação máxima, chegar ao final do jogo, vencer o chefão, entre outros; logo, as metas são o entusiasmo que impulsiona o jogador a chegar ao objetivo e vencer (PRENSKY, 2012).

O terceiro item, os resultados e “feedback”, é descrito pelo autor como uma das formas de avaliar o progresso do jogador em relação às metas descritas acima; o “feedback” ocorre no momento em que o jogador, por meio de sua ação, muda alguma coisa no jogo de tal modo que o jogo proporciona uma resposta ao jogador; essa situação é chamada de interatividade presente nos jogos para computador. Para Prensky (2012), por meio do “feedback”, o jogador pode ser recompensado ou não, seja pelo mérito de ter chegado ao controle absoluto de algo ou no caso de ter que tentar novamente até chegar ao resultado final.

No caso de jogos de computador, Prensky (2012) reporta para mais três elementos, os quais os “designers” de jogos imaginam como parte da estrutura de um jogo: o conflito, a interação e a simulação. O próximo item, trata do conceito de jogo digital.

4.2 O CONCEITO DE JOGO DIGITAL

De acordo com Arruda (2014, p. 3), “A concepção de jogos digitais envolve um entendimento mais amplo do que apenas saber o que são videogames, “[...] porque historicamente, a palavra videogame esteve restrita aos jogos de console que é o aparelho de videogame em si e às máquinas de fliperama. “Já as **tecnologias digitais** são baseadas na **microinformática**, o que engloba jogos para computadores, consoles, fliperamas, smartphones, tablets e qualquer outro equipamento que venha a existir” (ARRUDA, 2014, p. 3, grifo do autor). Segundo Arruda (2014), para compreender a definição do termo jogo digital é necessário saber o que significa a palavra digital e microinformática.

- Digital: No contexto da informática, digital refere-se a dígitos numéricos, daí a tecnologia digital ser baseada na linguagem binária: são números que decodificam toda a informação transmitida pelos computadores. Porém a sequência de dados não pode ser quebrada ou perdida, caso contrário todo o processo é corrompido. Você já passou por situações em que um arquivo não abriu, um CD arranhou e não funcionou? Isso ocorre devido à perda de algum dado binário nos arquivos.
- Microinformática: É baseada no termo informática, que se refere a um conjunto de ciências da informação, como computação, cálculo, modelagem de problemas, etc. O termo microinformática refere-se aqui a processos de produção, tratamento e problematização de informação baseada em tecnologias digitais disponíveis em mecanismos portáteis ou dimensões reduzidas e, portanto, possíveis de serem

adquiridos em ambientes domésticos, como os computadores pessoais, notebooks e dispositivos móveis como smartphones e tablets (ARRUDA, 2014, p. 3).

Os jogos computacionais são aqueles baseados em programação e mediados por plataformas eletrônicas digitais, como computador, celular, console e arcades (RANHEL, 2009), que também podem ser disponíveis em aparelhos portáteis e dispositivos móveis.

Agora podemos entender, conforme James Paul Gee (2003), uma das referências mundiais sobre o uso de “games” na educação: o jogo digital como sendo um jogo no qual existe a interação entre uma pessoa e o computador, recorrendo ao uso de tecnologia.

Assim, “O que é que tem de diferente em jogar um jogo no computador? Por que é que tantas outras pessoas, incluindo a geração dos jogos e muitos adultos, acham a combinação tão atraente e agradável?” (PRENSKY, 2012, p. 184, grifo nosso).

De acordo com Prensky (2012, p. 184), “a maior diferença é que os computadores aprimoram a “experiência do jogar”, que é o que as pessoas mais querem dos jogos”. Ou seja, o computador cumpre o papel de explicar as regras dos jogos mais rapidamente do que nos jogos físicos, proporcionando mais tempo para o jogador aproveitar a experiência de jogar.

Conforme Mattar (2010), as regras não são esclarecidas totalmente para o jogador no mundo dos “videogames”; geralmente o que se obtém no início do jogo é algum objetivo imediato, a noção básica de como manipular objetos ou personagens na tela. “Mas muitas das regras – a natureza do seu objetivo final e as técnicas disponíveis para atingi-lo – tornam-se aparentes apenas pela exploração do mundo. Você literalmente aprende jogando. Você precisa descobrir sozinho o que deve fazer” (MATTAR, 2010, p. 30).

Para Juul (2004), essa é a principal diferença entre os jogos de computador e seus precursores não eletrônicos; os jogos de computador adicionam automação e complexidade, podendo defender e calcular as regras do jogo por conta própria, permitindo “games” mais ricos e também que eles mantenham o ritmo, pois jogos com ritmo parecem, ser mais atraentes, ou, pelo menos, mais imediatamente atraentes, do que baseados em turnos ou não de estimulação.

Segundo Prensky (2012), os “designers” de jogos também propõem outros elementos integrantes da estrutura de um jogo de computador: o conflito/competição/desafio/oposição, a interação e a representação ou enredo. “O conflito, a competição, o desafio e a oposição são os problemas que os jogadores tentam resolver”, são eles que fazem “[...] circular sua adrenalina e criatividade e o que o faz ter vontade de jogar” (PRENSKY, 2012, p. 177).

No caso da interação, Prensky (2012, p. 177) “[...] apresenta dois aspectos importantes: O primeiro é a interação do jogador com o computador, que discutimos como o feedback; o segundo é o aspecto inerentemente social dos jogos – eles são jogados com outras pessoas”

(PRENSKY, 2012, p. 177). O último é a “representação que quer dizer que o jogo tem um significado, que pode ser abstrato ou concreto, direto ou indireto” (PRENSKY, 2012, p. 178).

Apresentamos no quadro 2 as várias razões apontadas por Prensky (2012, p. 185) sobre a questão “[...] por que tantas pessoas preferem os jogos digitais”?

Quadro 02: Razões pelas as quais pessoas preferem os jogos digitais

Jogos digitais	Diversas razões
Por que tantas pessoas preferem os jogos digitais?	Porque eles tomam conta da parte chata encontrada nos jogos físicos; apresentam mais reações; costumam ser mais rápidos; conseguem fazer coisas divertidas que os jogos comuns não conseguem, como simulações; podem gerar e permitir um número maior de opções e cenários.
	Porque eles conseguem suportar mais e melhor as representações gráficas, permitindo a sua variedade; podem ser modificados e receber novos elementos; podem ser atualizados instantaneamente.
	Porque a pessoa que estiver via “on-line” pode jogar a qualquer momento contra pessoas reais ou contra o próprio computador, ou seja, sozinho.
	Porque eles podem ser jogados em níveis diferentes de desafio, podem ser personalizados para atender a vontade de cada jogador, fazendo do jogador um membro da equipe de criação.

Fonte: Adaptado Prensky (2012)

Da mesma maneira, Gee (2005) descreve que os “videogames”, por serem interativos, proporcionam aos jogadores fazerem as coisas acontecer, não esgotando o que o autor (“designer” de jogos), colocou diante deles; por exemplo, o jogador faz alguma coisa e o jogo faz de volta algo que encoraja o jogador a agir novamente. Essa característica proporciona ao jogador o prazer, o encantamento em jogar.

Com relação às características que tornam os jogos como sendo bons ou não, Gee (2005) descreve que uma delas é o que acontece quando os jogadores conseguem sentir que as suas ações e decisões são co-criações do mundo em que vivem e das experiências que estão tendo, e não apenas ações e decisões dos “designers” de jogos.

Para Gee (2005), bons “games” devem ajustar desafios para dar “feedback”, de tal forma que diferentes jogadores possam sentir o jogo como um desafio, mas que de fato o seu esforço valerá a pena. Os jogadores recebem “feedback” no momento em que perceberem se seguem o caminho certo para o sucesso, mais tarde, e no final do jogo. “Quando os jogadores perdem a um chefe, talvez várias vezes, eles obtêm o “feedback” sobre o tipo de progresso que eles estão fazendo para que pelo menos eles saibam se e como estão se movendo na direção certa para o sucesso” (GEE, 2005, p. 10, tradução nossa).

Muitos jogos também incentivam os jogadores a interpretar as suas experiências de certas maneiras e buscar explicações para os seus erros e expectativas falhas. Esse incentivo funciona por meio de recursos do jogo, como o aumento dos graus de dificuldade que um jogador enfrenta como os níveis de um avanço de jogo, ou quando enfrenta um chefe que exige repensar o que já aprendeu (GEE, 2005).

Como se pode perceber, o mundo dos jogos de computador é fascinante, proporcionando ao jogador entretenimento e diversão. Segundo Prensky (2012), para centenas de milhões de pessoas os jogos de computador são envolventes por isto:

1. Eles proporcionam satisfação e prazer.
2. Eles proporcionam um envolvimento intenso e passional.
3. Eles proporcionam estrutura.
4. Eles proporcionam motivação.
5. Eles proporcionam algo a ser feito.
6. Eles proporcionam fluxo.
7. Eles proporcionam aprendizagem.
8. Eles proporcionam gratificações para o ego.
9. Eles proporcionam adrenalina.
10. Eles proporcionam nossa criatividade.
11. Eles nos dão grupos sociais.
12. Eles emocionam (PRENSKY, 2012, p. 204-204).

A seguir, abordaremos a aprendizagem baseada em jogos digitais. É importante salientar que neste trabalho se optou pelo uso do termo jogos digitais, porém este também pode ser compreendido como jogo de computador, “game” e “vídeo-game”.

4.3 A APRENDIZAGEM BASEADA EM JOGOS DIGITAIS

Em 2001, há mais de uma década, Marc Prensky publicou seu primeiro livro, “Aprendizagem baseada em jogos digitais” (Digital Game-Based Learning); nele abordou o uso de jogos digitais para aprender tanto a teoria quanto a prática baseado em jogos digitais. A última versão foi publicada em 2007.

A aprendizagem baseada em jogos digitais é justamente a diversão e o compromisso, a união séria de aprendizagem e entretenimento interativo em um meio emergente e altamente excitante (PRENSKY, 2007). Ou seja, a motivação pode finalmente ser encontrada para o aprendizado do conteúdo e temas que são os mais difíceis de ensinar ou educar, seja por motivos extremamente nebulosos e indiferentes ou extremamente complicados, ou ambos, e para levar as pessoas a se educar.

Em uma obra mais recente, traduzida para o português, Prensky (2012) cita que “[...] a aprendizagem baseada em jogos digitais é qualquer união entre um conteúdo educacional e

jogos de computador”. Ou ainda: “*qualquer jogo para o processo de ensino e aprendizagem em um computador*” (PRENSKY, 2012, p. 208, grifo do autor).

Três motivos são necessários para se efetivar a aprendizagem baseada em jogos digitais. Primeiro, o “[...] envolvimento acrescentado vem do fato de a aprendizagem ser colocada em um contexto de jogo. Isso pode ser considerável, principalmente para as pessoas que odeiam aprender” (PRENSKY, 2012, p. 209). Segundo, “[...] o processo interativo de aprendizagem empregada. Isso pode, e deveria assumir muitas formas diferentes dependendo dos objetivos de aprendizagem” (PRENSKY, 2012, p. 209). Terceiro, a “[...] maneira como os dois são unidos no pacote total. Há muitos modos de fazê-lo e a melhor solução é altamente contextual” (PRENSKY, 2012, p. 209).

Mas como unir envolvimento e interação de modo que a aprendizagem ocorra de fato com o uso de jogos digitais? É preciso refletir e fazer perguntas durante todo o processo de aprendizagem, conforme descritas no quadro 3 (PRENSKY, 2012).

Quadro 03: Princípios da aprendizagem baseada em jogos digitais

Para proporcionar uma aprendizagem utilizando jogos digitais, faça constantemente as seguintes perguntas:	1. Esse jogo é tão divertido que alguém que não faz parte de seu público-alvo gostaria de jogá-lo (e aprenderia com ele)?
	2. As pessoas que o estão usando pensam em si como “jogadores” em vez de “estudantes” ou “trainees”?
	3. A experiência é viciante? Ela produz muito “boca a boca” entre os usuários? Ou seja, os usuários, depois de jogar, correm para dizer a seus colegas “Você precisa experimentar isso – é muito legal”? Os usuários querem jogar novamente até ganharem e, positivamente, até depois disso?
	4. As habilidades dos jogadores no tema e no conteúdo de aprendizagem do jogo - seja ele conhecimento, processo, procedimento, capacidade, etc. – estão melhorando significativamente e rapidamente, ficando cada vez melhores à medida que eles jogam mais?
	5. O jogo motiva uma reflexão sobre o que foi aprendido?

Fonte: Prensky (2012, p. 250)

Para colocar em prática essas questões no contexto educacional, entendemos o quão é importante testar o jogo antes da aula, a fim de verificar se realmente ele será um bom jogo para se trabalhar os conteúdos em sala de aula, para, assim, obter a aprendizagem almejada.

James Paul Gee (2007), a partir do estudo da interação dos jogadores com diversos jogos, desenvolveu trinta e seis princípios de aprendizagem que podem ser incorporados aos “videogames”. A primeira dimensão que o autor apresenta é a dimensão da semiótica; depois, a relação entre aprendizado e identidade e, finalmente, o significado localizado.

Semiótica é a ciência geral dos signos; objetiva estudar os modos de constituição de todo e qualquer fenômeno como fenômeno de produção de significação e de sentido. Pode ser entendida como a ciência de todas as linguagens possíveis, tendo como objeto qualquer sistema

sígnico, artes visuais, música, fotografia, cinema, culinária, vestuário, gestos, religião, ciência, etc., neste caso, os jogos (SANTAELLA, 2007).

Gee (2007), tendo como base o domínio semiótico, ou seja, a relação entre aprendizado e identidade e significado localizado, explica que, no jogo, o jogador tem um aprendizado ativo e crítico e não passivo, já que ele precisa realizar ações dentro do jogo. Então deve existir a compreensão do desenho e dos símbolos do jogo que necessitam ser aprendidos para a evolução positiva do jogador, como passar de níveis, superar fases dentro do jogo.

A aprendizagem baseada em bons jogos digitais proporciona ao jogador atitudes e sensações, como: analisar hipóteses, autonomia, fantasia, riscos, engajamento, desafios, consequências de escolhas, pensamento centrado, resolução de problemas, adrenalina, tempo disponível, entre outros (GEE, 2007). E essas são atitudes esperadas dos alunos durante o processo de ensino e aprendizagem dos conceitos inerentes às ciências, seja na química, na geografia, na matemática, etc.

O maior desafio dos jogos com propósitos educacionais “[...] é oferecer para o aprendiz um ambiente em que os usuários queiram estar, queiram explorar e fiquem entretidos em tal intensidade que aprendam sem sentir que estão aprendendo [...]” (SANTAELLA, 2007, p. 262).

Porém a literatura sobre jogos, principalmente jogos digitais para o ensino de química, tanto no Brasil como internacionalmente, ainda é precária, sendo a área de Pedagogia e Matemática as que mais se sobressaem (SOARES, 2013).

Por isso, é necessária a construção de jogos digitais que abordem, principalmente, aqueles conteúdos menos visíveis para os alunos, por exemplo, a matéria no estado gasoso. Sendo assim, conforme a finalidade do objetivo proposto e, com base no referencial teórico estabelecido, apresentamos a seguir a metodologia desenvolvida nesta pesquisa.

5 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi priorizada a abordagem do tipo qualitativa, porque apresenta várias características que vão ao encontro dos objetivos almejados nesta pesquisa. Conforme as concepções de alguns autores, a pesquisa qualitativa proporciona:

- ✓ O contato com o ambiente natural como fonte para a coleta de dados (BOGDAN; BIKLEN, 1994, TRIVIÑOS, 2007).
- ✓ Uma interação ativa “entre o mundo real e o sujeito, isto é um vínculo indissociável do mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzida em números” (SILVA; MENEZES, 2005, p. 20).
- ✓ Compreender melhor um fenômeno “no contexto em que ocorre e do qual é parte, devendo ser analisado numa perspectiva integrada” (GODOY, 1995, p. 21).
- ✓ “[...] que a imaginação e a criatividade levem os investigadores a propor trabalhos que explorem novos enfoques” (GODOY, 1995, p. 21).
- ✓ Condições para compreender, decodificar, explicar e enfatizar a pluralidade da esfera educativa e dos saberes escolares, por meio do contato direto com a situação investigada (LÜDKE; ANDRÉ, 1986).

Conforme Bogdan e Biklen (1994), as investigações em educação que priorizam a vertente qualitativa são adequadas porque proporcionam um melhor acompanhamento dos estudos, contribuindo para alcançar os objetivos esperados pelo pesquisador durante o contato direto com o ambiente a ser analisado.

A pesquisa do tipo qualitativa é descritiva, porque os dados são recolhidos “[...] em forma de palavras ou imagens e não de números. Os resultados escritos da investigação contêm citações feitas com base nos dados para ilustrar e substanciar a apresentação” (BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. 47-48).

Os dados podem ser “[...] transcrições de entrevistas, notas de campo, fotografias, vídeos, documentos pessoais, memorandos e outros registros oficiais” (BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. 47-48). Assim, “os dados recolhidos são designados por qualitativos, o que significa ricos em pormenores descritivos relativamente a pessoas, locais e conversas, e de complexo tratamento estatístico” (BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. 16).

Os pesquisadores que trabalham nesse segmento “[...] em educação estão continuamente a questionar os sujeitos de investigação, com o objetivo de perceber aquilo que eles experimentam, o modo como eles interpretam as suas experiências e o modo como eles próprios

estruturam o mundo social em que vivem” (PSATHAS, 1973 apud BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. 51).

O papel do pesquisador é ir a campo, coletar dados por meio das pessoas nele envolvidas para, então, analisá-los e compreender a dinâmica do fenômeno que estuda (GODOY, 1995). Assim, tem que se atentar mais à ação do que apenas aos resultados.

O empenho do pesquisador não pode estar focado em quantificar um lance ou quantas vezes uma variável aparece, mas sim na qualidade em que elas se apresentam (MINAYO, 2001), ou seja, como os fatos acontecem.

Na pesquisa, as técnicas utilizadas para coletar os dados são uma tarefa importante que pode envolver vários passos, como a seleção dos participantes na pesquisa, a elaboração dos instrumentos de coleta, a programação da coleta, o tipo de dados e de coleta que se pretende obter durante o desenvolvimento do trabalho (CERVO; BERVIAN; DA SILVA, 2007).

Na pesquisa qualitativa, o pesquisador pode utilizar várias estratégias para obter os dados, como questionários, observação, entrevistas, notas de campo, análise de documentos, desenhos, entre outros. A “[...] observação (participante ou não), a entrevista em profundidade e a análise de documentos são os mais utilizados, embora possam ser complementados por outras técnicas” (ALVES-MAZZOTTI; GEWANDSZNAJDER, 1998, p.163).

Nesta pesquisa, foram utilizadas várias estratégias, tais como: etapas construídas de um jogo digital que simulam a movimentação aleatória das partículas num sistema fechado, jogo digital finalizado (também simulam a movimentação aleatória das partículas) para os participantes jogarem os níveis contidos no jogo, questionários, entrevistas semiestruturadas e desenhos. Para isso, conforme o objetivo da pesquisa e as questões-problemas, primeiro, utilizamos as etapas construídas de um jogo digital e, depois, os níveis do jogo finalizado.

Os questionários, segundo Severino (2007), são um conjunto de questões, sistematicamente articuladas, que se destinam a conseguir informações escritas pelos participantes da pesquisa, com o objetivo de conhecer a ideia dos mesmos em relação aos assuntos que se pretende estudar. Por isso, os utilizamos para obter informações referentes a concepções de conceitos científicos, dados pessoais, acadêmicos e profissionais dos licenciandos em Química.

As questões dos questionários foram organizadas por questões abertas (sujeitos elaboram as respostas com as próprias palavras a partir de suas elaborações pessoais) e fechadas (as respostas dos participantes podem ser assinaladas dentre as opções pré-definidas por pesquisadores) (SEVERINO, 2007).

Com relação às entrevistas, Alves-Mazzotti e Gewandszajder (1998, p.168) citam que elas têm caráter interativo porque “[...] permite tratar de temas complexos que dificilmente poderiam ser investigados adequadamente através de questionário [...]”. Portanto, por serem “[...] qualitativas são muito pouco estruturadas, sem um fraseamento e uma ordem rigidamente estabelecidos para as perguntas, assemelhando-se muito a uma conversa” (ALVES-MAZZOTTI; GEWANDSZNAJDER, 1998, p.168).

Lakatos e Marconi (1996, p. 84) mencionam que as entrevistas fazem parte de “[...] um procedimento utilizado na investigação social, para a coleta de dados ou para ajudar no diagnóstico ou no tratamento de um problema social”.

Assim, compactuamos com a ideia de Thompson (1992, p. 254), ao pontuar que, ao optar pelas entrevistas, é importante que o investigador defina o seu tipo, pois “[...] há muitos estilos diferentes de entrevista, que vão desde a que se faz sob a forma de conversa amigável e informal até o estilo mais formal e controlado de perguntar [...]”

Thompson (1992) define os tipos de entrevistas como a não estruturada (introduz o tema da pesquisa e deixa o informante falar) e a semiestruturada (uso de perguntas precisas, mas também deixa o entrevistado responder com seus próprios termos), a história oral (reconstituição de um período ou evento histórico pelos sujeitos envolvidos) e a história de vida (trajetória de vida dos entrevistados, com objetivo de associá-la a situações presentes).

Nesta pesquisa, optamos pelas entrevistas, porque elas proporcionam “um encontro entre duas pessoas, a fim de que uma delas obtenha informações a respeito de determinado assunto, mediante uma conversação de natureza profissional” (LAKATOS; MARCONI, 1996, p. 84). Assim, selecionamos as do tipo semiestruturadas, porque o pesquisador pode, além de fazer perguntas específicas, deixar também que o entrevistado responda livremente com seus próprios termos (ALVES-MAZZOTTI; GEWANDSZNAJDER, 1998).

Outra questão importante descrita por Bauer e Gaskell (2002) é o fato de que, assim como as falas se referem a pensamentos, sentimentos, memórias, planos e discussões das pessoas, os textos também podem nos dizer mais do que seus autores imaginam, por exemplo, os desenhos que os sujeitos elaboram. Portanto, assim como as pessoas expressam seus pontos de vista falando, elas também o fazem escrevendo; por isso, a nossa opção pela construção de desenhos antes de cada entrevista semiestruturada.

5.1 OS PARTICIPANTES DA PESQUISA E O LOCAL

Esta pesquisa contou com a participação de 21 (vinte e um) licenciandos em Química, separados em três grupos: grupo 01, 02 e 03. O Grupo 01 foi composto por 07 (sete) licenciandos que participaram de todos os momentos da coleta de dados.

A caracterização do grupo 02 ocorreu após considerações proferidas pelo professor e pesquisador Dr^o Wilson Massashiro Yonezawa, quando a pesquisadora apresentou o projeto de doutorado na 14^a Reunião Técnica, evento característico do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, o qual está vinculado à faculdade de ciências da Unesp, Bauru. Ou seja, aplicar as etapas construídas para o jogo digital para alunos que não estudaram os conteúdos da Teoria Cinética dos Gases, como os participantes do grupo 01; como os alunos estão na universidade, em algum momento poderiam ter visto ou estudado tal assunto.

A caracterização do grupo 03 ocorreu após a coleta de dados obtidos com os grupos 01 e 02, ou seja, aplicar o jogo digital para licenciandos que não tinham estudado os conteúdos da Teoria Cinética dos Gases e não tinham participado das entrevistas semiestruturadas da aplicação das etapas 1A, 1B, 1C e 1D.

Todos os participantes são alunos do curso de Licenciatura em Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Londrina. É importante ressaltar que os participantes não cursam o mesmo período na licenciatura em química porque, de acordo com o objetivo da pesquisa e do referencial teórico de Piaget, os sujeitos podem construir ao longo de sua vida pessoal, profissional e estudantil esquemas cognitivos a respeito dos conceitos investigados.

Os vinte e um licenciandos também fazem parte do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação – Pibid. Vale ressaltar que a pesquisa não ocorreu no âmbito do Pibid, mas que o espaço foi concedido pelo coordenador do programa para desenvolver a pesquisa com os alunos integrantes desse projeto, uma vez que os integrantes do grupo 01, estudaram com a pesquisadora os conteúdos relacionados à TCG, como descritos a seguir na coleta de dados.

A coleta de dados foi possível diante da organização e disponibilidade dos horários entre os licenciandos dos grupos (01, 02, 03) e a pesquisadora. O local da pesquisa foi nas dependências da instituição citada.

Esta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa – CEP e seguiu as normas regidas pelo parecer de aprovação nº 430.923 da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, câmpus Bauru. Para validar e analisar os dados obtidos, todos os sujeitos assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e foram identificados por códigos.

O responsável pelo Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência - Pibid, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), em conjunto com o coordenador do curso de Licenciatura em Química e da Diretora de Graduação e Educação Profissional da referida universidade, autorizaram a coleta de dados.

A seguir, descrevemos o desenvolvimento da coleta de dados.

5.2 A COLETA DE DADOS

Na coleta de dados, cada grupo (01, 02, 03) contribuiu em determinado momento da pesquisa, conforme a construção de etapas de um jogo digital e após a sua finalização.

O grupo 01 participou de todos os momentos da coleta de dados. Primeiro, estudou junto com a pesquisadora os conteúdos da Teoria Cinética dos Gases. Na sequência, com as etapas construídas do jogo digital disponível, foram realizadas as entrevistas semiestruturadas. E, por fim, quando o jogo digital foi finalizado, foram feitas as últimas entrevistas com os participantes que jogaram os níveis do jogo digital, desenvolvido por Almeida (2015).

O grupo 02 se diferencia do grupo 01, porque não estudou os conteúdos da TCG. Participaram a partir das entrevistas semiestruturadas durante as etapas construídas do jogo digital e na sua aplicação após finalizado.

Neste contexto, à medida que fomos coletando os dados, procuramos identificar temas e relações, fizemos interpretações, geramos novas questões e aperfeiçoamos as anteriores (ALVES-MAZZOTTI; GEWANDSZNAJDER, 1998). Por isso, sentimos a necessidade de selecionar licenciandos que não tivessem estudado a Teoria Cinética dos Gases nem participado das entrevistas semiestruturadas das etapas construídas do jogo digital, o grupo 03.

É importante salientar que no grupo 03, não investigamos o conceito de irreversibilidade, somente o de aleatoriedade, porque os dados coletados com os outros grupos 01 e 02 foram satisfatórios.

Na aplicação dos níveis do jogo digital, investigamos, além das concepções de aleatoriedade dos participantes, também alguns aspectos da imprevisibilidade de trajetórias das partículas. Assim, como o jogador atua no jogo com a partícula vermelha, pode, no início do jogo, prever as primeiras colisões do lado esquerdo, tendo, portanto, uma probabilidade maior de efetuar mais colisões da partícula vermelha com a azul deste lado.

O jogador também vivencia, após mais ou menos uns cinco segundos de início de cada nível do jogo, a movimentação aleatória entre as partículas, percebendo que suas trajetórias são

imprevisíveis, pois, após os choques entre si e com a parede do recipiente, adquirem posições diferentes, conforme o modelo da teoria cinética dos gases.

Todos os participantes foram mantidos no anonimato e identificados por códigos. Por exemplo, a letra P representa a pesquisadora. A letra G com os números 1, 2 e 3 subscritos se refere ao grupo de licenciandos. A letra L se refere aos licenciandos. Ficaram assim estabelecidos os códigos dos participantes: L1G₁, L2G₁, L3G₁, L4G₁, L5G₁, L6G₁ e L7G₁, L8G₂, L9G₂, L10G₂, L11G₂, L12G₂, L13G₂, L14G₃, L15G₃, L16G₃, L17G₃, L18G₃, L19G₃, L20G₃, L21G₃. Por exemplo, L1G₁ trata do licenciando de número um do grupo 01.

A coleta de dados foi filmada e gravada, empregando como recursos uma máquina fotográfica da marca Samsung, modelo WB150F, HD e um celular smartphone LG modelo E455f. Para apresentação e visualização das movimentações das partículas nas etapas construídas do jogo digital, como também para os participantes jogarem os níveis do jogo digital finalizado, foi utilizado um computador portátil do tipo “Ultrabook” da marca “Dell”, tela de 14 polegadas, modelo “Inspiron”.

Para validar e analisar os dados obtidos, todos os participantes leram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e, em seguida, o assinaram. É importante esclarecer que cada grupo (01, 02, 03) assinou o seu TCLE, conforme suas participações na coleta de dados.

5.2.1 Jogo digital: cinética dos gases

O jogo digital, utilizado como um dos recursos para a coleta de dados desta pesquisa, foi desenvolvido por Almeida (2015). Para a elaboração do jogo, denominado “Cinética dos Gases”, o autor utilizou um “software” de código aberto e gratuito denominado “Game Editor” o qual “[...] possibilita o desenvolvimento de jogos bidimensionais para computadores e dispositivos móveis. O programa pode funcionar em diversos sistemas operacionais, e seus jogos podem ser executados nos mesmos sistemas” (ALMEIDA, 2015, p. 56).

O jogo digital foi desenvolvido a partir de conceitos de físico-química, especificamente, o modelo da cinética dos gases. O jogo funciona como um análogo para o conceito do movimento das partículas de um gás, o qual simula um recipiente fechado contendo moléculas de gases reais (ALMEIDA, 2015).

No jogo, o autor evidenciou aspectos relacionados aos conhecimentos inerentes ao comportamento dos gases e a trajetória das partículas, conforme a cinética química. Nesse contexto, Almeida (2015, p. 74) explica que “[...] os elementos e fenômenos inseridos no jogo

fazem o papel de conceitos análogos, enquanto os conteúdos teóricos de cinética química fazem o papel de conceitos alvos”. Tal elucidação foi organizada por Almeida (2015) no quadro 04.

Quadro 04: Conceitos análogos presentes no jogo e seus respectivos conceitos alvos teóricos.

NO JOGO	NA TEORIA
Formato esférico das partículas	Moléculas podem ter qualquer formato
Esfera vermelha pode se mover em qualquer tipo de trajetória	Partículas se movem de maneira retilínea
Esferas macroscópicas	Partículas submicroscópicas
Movimento bidimensional	Movimento tridimensional
Colisões frequentes	Colisões não são frequentes

Fonte: Almeida (2015, p. 74)

Ao desenvolver o jogo, Almeida (2015, p. 56) frisou: “Num sistema fechado onde partículas de um ou mais gases se movimentam, é difícil imaginar como o jogador poderia interferir sem que a simulação perdesse sua semelhança com a realidade”, pois, para Almeida (2015, p. 53), “[...] é fácil relacionar com a natureza uma simples simulação na qual as partículas se movimentam aleatoriamente e em trajetórias retilíneas, mas não é tão simples fazer o mesmo com todas as possíveis interações que um jogador faz usando seu raciocínio lógico.

As interações que ocorrem num jogo é o que o diferencia de outras simulações, logo não podem ser excluídas. Assim, “[...] não é necessário que ele seja fiel à realidade em todos os aspectos (na verdade nenhuma simulação é), ou seja, nós temos a liberdade de introduzir elementos fictícios nele” (ALMEIDA, 2015, p. 53).

Durante os níveis 1, 2, 3, 4 e 5 do jogo digital, “[...] quando o jogador clica sobre a esfera vermelha, seu movimento passa a ser controlado pelo jogador através do “mouse” e todas as demais esferas começam a se mover aleatoriamente pelo espaço” (ALMEIDA, 2015, p. 57). Almeida (2015) explica que a esfera vermelha construída para o jogo digital não segue o padrão estabelecido para uma molécula de gás e, assim, destaca dois aspectos:

Primeiro porque o seu movimento é totalmente arbitrário pois ela segue os movimentos do jogador com o mouse, podendo então mudar de velocidade e direção mesmo sem colidir com nenhum objeto e, portanto, não se movimentando como uma molécula real. Segundo porque as colisões entre ela e outras esferas não são elásticas pois a energia cinética que deveria ser transferida é irrelevante para a esfera vermelha, uma vez que ela se move apenas de acordo com os comandos do jogador. Por esse motivo, a esfera vermelha no jogo não deve ser interpretada como uma representação de partícula de gás comum que se move livremente (ALMEIDA, 2015, p. 77).

A descrição completa do desenvolvimento do jogo digital pode ser revisitada no trabalho do autor e, também, em alguns momentos ocorridos neste trabalho. Na sequência, descrevemos como foi a coleta de dados obtidas com os grupos 01, 02 e 03.

5.3 DESCRIÇÃO DA COLETA DE DADOS - GRUPO 01

A coleta de dados com os participantes do grupo 01 ocorreu no período entre agosto e dezembro de 2013 (totalizando 10 encontros), momentos nos quais foi desenvolvido um estudo dos conteúdos de Teoria Cinética dos Gases junto a esses participantes. Este conteúdo foi estudado a fim de investigar se os licenciandos conseguiriam apresentar os conceitos de aleatoriedade e irreversibilidade nas etapas de construção e aplicação do jogo digital por meio das entrevistas semiestruturadas.

No primeiro encontro (29 de agosto de 2013), foi realizado o contato inicial com os discentes do Pibid e exposta a proposta do projeto de pesquisa de Doutorado. Nesse dia, estavam presentes cinco alunos. Encerradas as apresentações, a pesquisadora apresentou, em “PowerPoint”, uma aula abordando a respeito de planejamento e tipos de planejamento na área da educação (FARIAS, 2009; HAYDT, 2006).

No final da aula, foi aplicado um questionário (Apêndice 01) para obter alguns dados acadêmicos e profissionais dos participantes e, também, investigar as suas concepções referentes aos três estados físicos da matéria, pois, para entender a Teoria Cinética dos Gases, é importante compreender bem os três estados físicos da matéria: sólido, líquido e gasoso.

No segundo encontro (05 de setembro de 2013), os licenciandos foram separados em duplas, para fazerem um planejamento de aula sobre os três estados físicos da matéria e apresentarem em forma de seminário no próximo encontro. Em seguida, retomamos as questões do apêndice 01 e o estudo do referido conteúdo.

No terceiro encontro (12 de setembro de 2013), a primeira dupla, L1G₁ e L6G₁, apresentou em “PowerPoint” o plano de aula sobre os Estados Físicos da Matéria e suas Propriedades. A segunda dupla, L2G₁ e L4G₁, apresentou o plano de aula sobre os Estados Físicos da Matéria e suas Propriedades, utilizando como recurso o “PowerPoint”. No início, trouxeram o contexto histórico, abrindo parênteses para a discussão em torno da importância ou não de abordar o contexto histórico quando forem ensinar os conteúdos de Química.

Na sequência, a terceira dupla, L*G₁ L7G₁, apresentou o plano de aula sobre os estados físicos da matéria e suas propriedades por meio do “PowerPoint” e o quadro branco. Essa dupla falou a respeito de conceitos, tais como: estados da matéria, sólido amorfo, forças

intermoleculares, misturas azeotrópicas e eutéticas, tensão superficial, Lei de Boyle, gráficos da energia potencial e a energia cinética e variação de Entalpia (ΔH).

A quarta dupla faltou. Assim, a apresentação foi seguida com a quinta e última dupla, L3G₁ e L10G₂. Apresentaram em “PowerPoint” o plano de aula sobre os estados físicos da matéria e suas propriedades, definiram os conceitos do estado da matéria, explicaram os estados de agregação da matéria mais conhecidos - sólido, líquido, gasoso - e também plasma e outros não tão conhecidos, como o estado condensado de Bose-Einstein.

No final do encontro, a pesquisadora percebeu que muitos conceitos não foram compreendidos durante alguns questionamentos, como, por exemplo, “Vocês sabem me dizer o que é energia potencial e energia cinética?” Nenhum dos alunos presentes soube explicar. Portanto ficou acordado, entre os alunos, o estudo de alguns conteúdos para o próximo encontro: o quarto estado da matéria – plasma, sólido amorfo, tensão superficial, energia cinética e energia potencial, estado Condensado de Bose-Einstein.

No quarto encontro (19 de setembro de 2013), primeiramente foi realizada a leitura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE (Apêndice 02) juntamente com os (as) participantes da pesquisa, os quais assinaram. Em seguida, a pesquisadora concretizou uma investigação por meio de uma atividade proposta contendo assuntos sobre os estados da matéria, para conhecer as concepções dos participantes sobre esse conteúdo (Apêndice 03).

Após responderem a atividade, a pesquisadora iniciou uma aula com o objetivo de retomar alguns conceitos que não ficaram bem compreendidos nas apresentações das duplas, realizadas no encontro do dia 12/09/2013. Por exemplo: matéria, transformações da matéria, energia, trabalho, força, aceleração, massa, peso, velocidade, gravidade, energia potencial gravitacional, energia cinética, forças eletrostáticas de atração e repulsão entre partículas carregadas, as forças intermoleculares, tensão superficial, o quarto estado da matéria – plasma (ATKINS; JONES, 2012; BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005; FELTRE, 2008; KOTZ; TREICHEL; WEAVER, 2012; PERUZZO; CANTO, 2006). No final da aula, foi feita a correção da atividade proposta (Apêndice 03) juntamente com os licenciandos.

No quinto encontro (10 de outubro de 2013), iniciou-se o estudo dos conteúdos de “Gases”, a partir de uma leitura em sala de aula dos tópicos abordados no capítulo 6: “Gases” do livro de “Química geral: fundamentos” (MAIA; BIANCHI, 2007). Este livro foi selecionado devido às suas características, como: linguagem acessível, objetiva e de fácil compreensão para alunos iniciantes deste assunto.

Por fim, os próprios alunos sugeriram para o próximo encontro a resolução de exercícios deste capítulo do livro. Para tanto, foi disponibilizada, no xérox da Universidade, uma lista de exercícios contida no livro de Maia e Bianchi (2007, p. 168-171).

No sexto encontro (17 de outubro de 2013), foi resolvida a lista de exercícios proposta no encontro anterior. A correção foi feita no quadro com a participação dos alunos, fazendo um revezamento entre os participantes presentes. No final do encontro, ainda ficaram oito (8) exercícios sem resolver. Ficou acordado para o próximo encontro o término da resolução e a retomada do conteúdo de gases.

No sétimo encontro (24 de outubro de 2013), a pesquisadora iniciou a correção dos exercícios restantes no quadro. Em seguida, foi iniciado o estudo do capítulo 4 (quatro): “Propriedades dos Gases” do livro de “Físico-química: volume 1” (ATKINS; PAULA, 2012). A pesquisadora realizou a leitura do capítulo, sempre dialogando com os alunos a respeito de cada conhecimento abordado no livro. Os licenciandos também fizeram a leitura em voz alta, explicando o que entendiam, sempre com a mediação da pesquisadora. Ao final da aula, ficou acordado para o próximo encontro uma retomada dos conceitos abordados em sala de aula, para, em seguida, dar sequência ao estudo do conteúdo da Teoria Cinética dos Gases.

No oitavo encontro (31 de outubro de 2013), a pesquisadora planejou uma aula com retomada dos conteúdos de gases, vistos anteriormente. Para isso, o planejamento foi baseado nos livros de “Físico-química: volume 1” (ATKINS; PAULA, 2012) e “Fundamentos de Físico-química” (CASTELLAN, 2001). A aula teve como objetivo dialogar junto aos participantes o entendimento dos conceitos de gases ideais, os pontos fundamentais para as leis dos gases ideais, a equação de estado, os desvios do comportamento ideal, os conceitos para os gases reais, a equação de van der Waals e os coeficientes de van der Waals.

O nono encontro (07 de novembro de 2013) foi realizado no laboratório de informática. A pesquisadora iniciou a aula com a retomada de alguns conceitos relacionados à estrutura dos gases. Em seguida, os alunos acessaram a internet e exploraram o “site” “http://freewebs.com/facil/gases/gases_historia.htm”, para compreender um pouco sobre a evolução histórica da Teoria Cinética dos Gases. Depois, foi acessado o “site” “<http://www.freewebs.com/facil/gases/gases_enerint.htm>”, para aprender alguns conceitos sobre Energia Interna do Gás, Quantidade de movimento, choque elástico, Impulso, Energia Interna, Constante de Boltzmann. Neste “site”, os alunos interagiram com uma simulação denominada “O Voo dos Balões de Ar Quente”. Estudamos também os conteúdos da teoria cinética dos gases, sua estrutura e propriedades (CASTELLAN, 2001).

No décimo encontro (21 de novembro de 2013), os estudos relacionados à Teoria Cinética dos Gases do capítulo 4 (quatro), “A Estrutura dos Gases”, foram retomados em sala de aula (CASTELLAN, 2001).

Após esse momento, no mês de abril de 2014, primeiramente, os participantes responderam um questionário (Apêndice 04), a fim de conhecermos questões pessoais, profissionais, acadêmicas e também quais conteúdos estudaram inerentes à Teoria Cinética dos Gases. Em seguida, com a disponibilização das etapas 1A, 1B, 1C e 1D construídas para o jogo digital, foram realizadas as entrevistas semiestruturadas, conforme apêndice 05, com os sete licenciandos do grupo 01.

As últimas entrevistas semiestruturadas foram realizadas nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2014, quando o jogo digital foi finalizado. Primeiramente, a pesquisadora elucidou o funcionamento do jogo, conforme apêndice 06 e, em seguida, foram realizadas as entrevistas semiestruturadas (Apêndice 07).

5.4 DESCRIÇÃO DA COLETA DE DADOS - GRUPO 02

Os seis participantes do grupo 02 não participaram do estudo da teoria cinética dos gases. Assim, no mês de abril de 2014, primeiramente, assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE (Apêndice 08). Na sequência, também responderam um questionário (Apêndice 04).

Com a disponibilização das etapas 1A, 1B, 1C e 1D construídas para o jogo digital, foram realizadas as entrevistas semiestruturadas, conforme apêndice 05.

As últimas entrevistas semiestruturadas foram realizadas nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2014, quando o jogo digital foi finalizado. Primeiramente, a pesquisadora elucidou o funcionamento do jogo, conforme apêndice 06 e, depois, foram realizadas as entrevistas semiestruturadas (Apêndice 07).

5.5 DESCRIÇÃO DA COLETA DE DADOS - GRUPO 03

Os oito participantes do grupo 03 não participaram do estudo da Teoria Cinética dos Gases nem das entrevistas referentes às etapas de construção do jogo digital. Participaram da coleta de dados somente nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2014.

Inicialmente, todos os licenciandos assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE (Apêndice 09). Na sequência, responderam um questionário (Apêndice

04), a fim de conhecermos questões pessoais, profissionais, acadêmicas e também quais conteúdos estudaram inerentes à Teoria Cinética dos Gases.

Posteriormente, a pesquisadora elucidou o funcionamento do jogo (Apêndice 06) e, na sequência, realizou as entrevistas semiestruturadas (Apêndice 07).

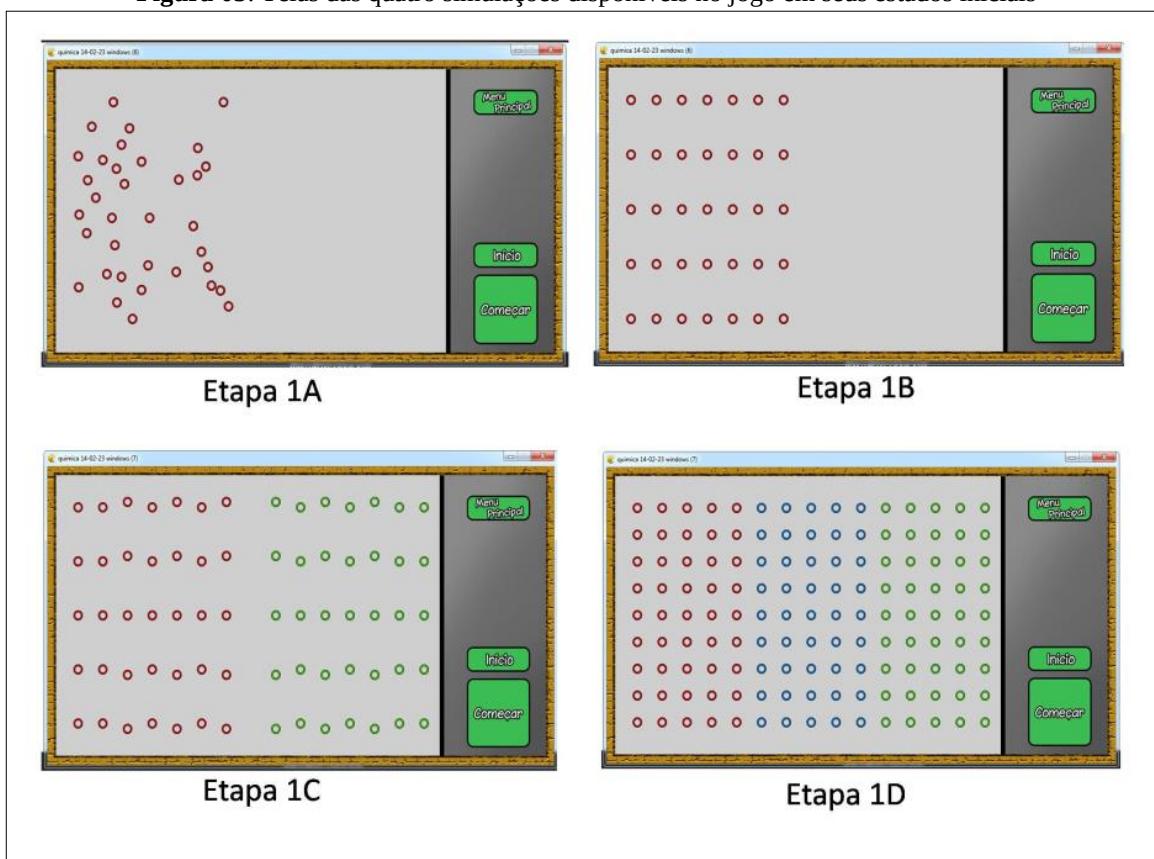
Apresentamos a seguir, o passo-a-passo, como foram coletados os dados, utilizando como recurso as etapas 1A, 1B, 1C e 1D construídas para o jogo digital.

5.6 DESCRIÇÃO DA COLETA DE DADOS DAS ETAPAS DO JOGO

A coleta de dados foi realizada utilizando como recurso as etapas 1A, 1B, 1C e 1D construídas para o jogo digital, as quais simulam o movimento aleatório das partículas. De acordo com Almeida (2015, p. 58), “[...] o intuito dessas simulações é que o jogador observe o tipo de movimento das partículas e a maneira como arranjos inicialmente ordenados se tornam desordenados e aleatórios, sem interagir diretamente com elas”. Sendo assim, toda vez que citarmos as etapas construídas do jogo digital, elas se referem a simulações às quais o jogador pode ter acesso a qualquer momento.

Antes de iniciar as entrevistas semiestruturadas (Apêndice 05), foi explicado para os participantes do grupo 01 e 02 o funcionamento das etapas (1A, 1B, 1C e 1D). Para isso, mostramos inicialmente as etapas individualmente, conforme figura 05.

Figura 05: Telas das quatro simulações disponíveis no jogo em seus estados iniciais



Fonte: Software de Cinética Química
(Grupo de Pesquisa Ensino de Ciências e Tecnologia Educacional, UNESP-Bauru).

No início de cada entrevista, foi mostrado para o licenciando, via “notebook”, como eram compostas as etapas, como, por exemplo: na etapa 1A (FIG. 05), temos 35 esferas/bolinhas/partículas vermelhas distribuídas em desordem.

Na sequência, foi entregue ao discente uma folha igual a figura 05, mas sem as partículas distribuídas no sistema. Em seguida foi solicitado: *De acordo com a tela do computador, faça um desenho de como as partículas vão se comportar ao apertarmos o botão começar.*

Com a finalização do desenho, outra questão foi feita para o participante: *Quais foram as razões que o (a) levaram a desenhar essas trajetórias?* Após as respostas, seguiu-se com a pergunta: *Vamos ver como foi a sua previsão com relação à proposta nessa etapa 1A de construção do jogo?* Assim, a pesquisadora apertou o botão começar, no “notebook”, da Etapa 1A para o licenciando visualizar a movimentação aleatória das partículas. Em seguida, perguntou: *Foi como você imaginava?*

Esse momento permitiu aos participantes olhar para o desenho elaborado e para a tela do “notebook” para, assim, responderem as outras perguntas, como: *Em sua opinião, qual (is) o (s) motivo (s) das partículas irem para lá ou para cá? O sistema pode voltar como era no*

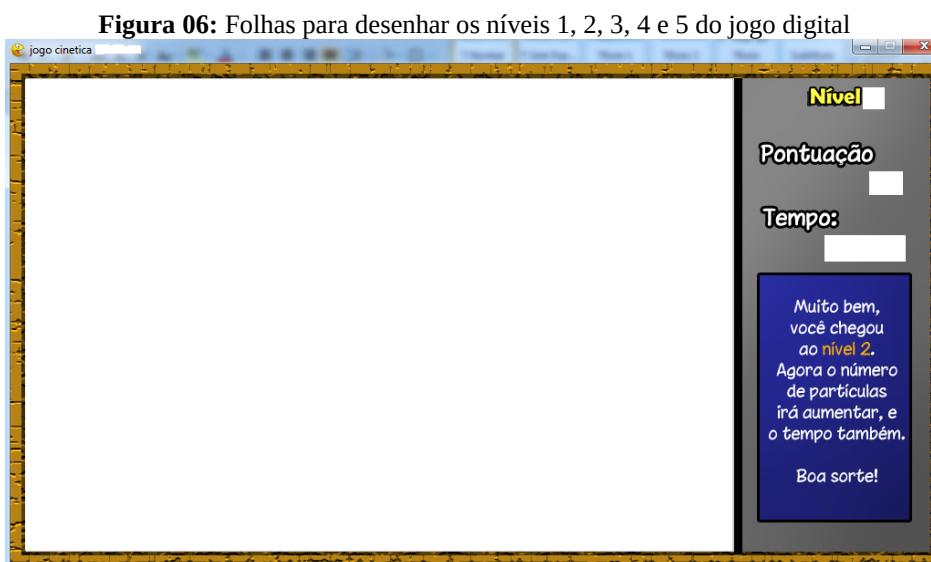
início, antes de apertarmos o botão começar? Alguma parte do sistema pode voltar como era antes? Por que não volta?

Posteriormente, foi iniciada a coleta com as etapas 1B, 1C e 1D, de acordo com o mesmo roteiro (Apêndice 05).

5.7 DESCRIÇÃO DA COLETA DE DADOS DOS NÍVEIS DO JOGO DIGITAL

Primeiramente, a pesquisadora elucidou o funcionamento do jogo digital, conforme apêndice 06. Depois, foram realizadas as entrevistas semiestruturadas (Apêndice 07).

Antes de iniciar as entrevistas, foi entregue ao participante um papel impresso em cada nível do jogo digital, conforme figura 06.



Fonte: Software de Cinética Química
(Grupo de Pesquisa Ensino de Ciências e Tecnologia Educacional, UNESP-Bauru).

Na sequência, foi mostrado, por meio do “notebook”, o funcionamento do nível 1 do jogo, para os participantes visualizarem como se inicia o jogo digital (FIG. 07). Ou seja, compreenderem que o “play” do jogo ocorre com o clique no “touchpad” na partícula vermelha.

Figura 07: Tela do nível 1 do jogo digital

Fonte: Software de Cinética Química
(Grupo de Pesquisa Ensino de Ciências e Tecnologia Educacional, UNESP-Bauru).

Na sequência, com o participante de frente com a tela do “notebook”, mostrando os níveis do jogo, por exemplo, nível 1 (FIG. 07), foi solicitado: *De acordo com a tela do computador, faça um desenho das trajetórias entre as partículas para obter os pontos para passar o nível.*

Após os alunos desenharem, encerrava-se a filmagem e iniciava a gravação da entrevista com perguntas referentes ao seu desenho: *Quais foram as razões que o (a) levaram a desenhar essas trajetórias? Por que você iniciou com essa primeira trajetória, colisão? E, por que você não iniciou a trajetória na posição da partícula de nº x ou y?*

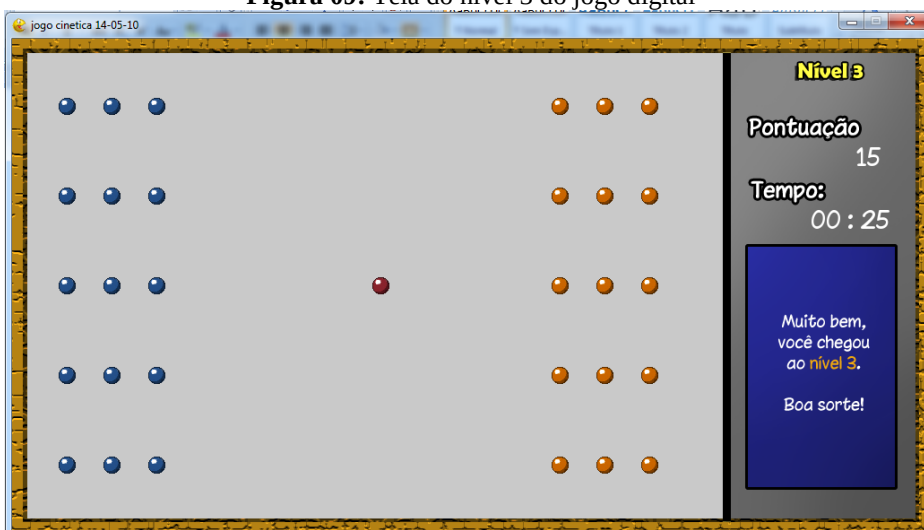
Após as respostas dos participantes, foi indagado: *Viu como foi a sua previsão/desenho das trajetórias com relação às trajetórias ocorridas durante o nível x do jogo?* Assim, os licenciandos começavam a jogar o nível do jogo no “notebook”.

É importante elucidar que, independentemente de eles passarem ou não de nível, a entrevista era realizada. A pesquisadora comparava o desenho do participante com as vivências/trajetórias realizadas pelo jogador durante o jogo, questionando: *Foi como você imaginava? Qual foi a sua preocupação nesse nível do jogo? Qual foi a estratégia utilizada para você conseguir passar esse nível?*

Do mesmo modo, foram realizadas as entrevistas para os níveis 2 (FIG. 08), nível 3 (FIG. 09), nível 4 (FIG. 10) e nível 5 (FIG. 11) do jogo digital.

Figura 08: Tela do nível 2 do jogo digital

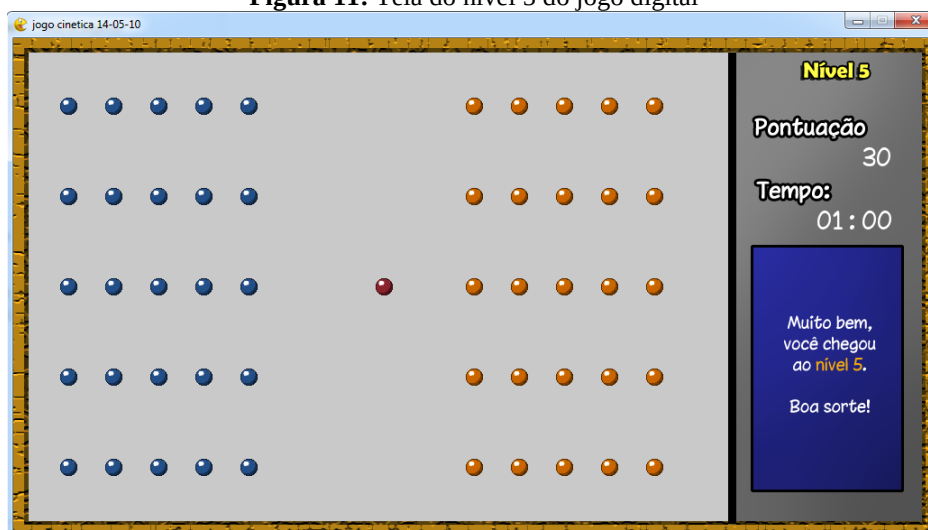
Fonte: Software de Cinética Química
(Grupo de Pesquisa Ensino de Ciências e Tecnologia Educacional, UNESP-Bauru).

Figura 09: Tela do nível 3 do jogo digital

Fonte: Software de Cinética Química
(Grupo de Pesquisa Ensino de Ciências e Tecnologia Educacional, UNESP-Bauru).

Figura 10: Tela do nível 4 do jogo digital

Fonte: Software de Cinética Química
(Grupo de Pesquisa Ensino de Ciências e Tecnologia Educacional, UNESP-Bauru).

Figura 11: Tela do nível 5 do jogo digital

Fonte: Software de Cinética Química
(Grupo de Pesquisa Ensino de Ciências e Tecnologia Educacional, UNESP-Bauru).

No quadro 05, apresentamos o tempo de duração das entrevistas semiestruturadas realizadas com cada participante. O tempo mínimo foi de 42 minutos e o máximo foi de 02h02minutos. Os (as) participantes jogaram conforme sua disponibilidade e objetivo de passar cada nível do jogo digital.

Quadro 05: Duração das entrevistas semiestruturadas com os participantes

LICENCIANDO (A)	DATA	TEMPO DA ENTREVISTA
L1G ₁	24/11/2014	45 minutos
L2G ₁	04/11/2014	1h40min
L3G ₁	11/12/2014, 25/11/2014	42 minutos, 1h06min
L4G ₁	30/10/2014, 03/11/2014, 10/12/2014	1h07min, 49 minutos, 14 minutos
L5G ₁	19/11/2014	1h50min
L6G ₁	06/11/2014	1h58min
L7G ₁	08/12/2014	1h54min
L8G ₂	04/12/2014	1h48min
L9G ₂	07/11/2014, 11/11/2014	1h41min, 30 minutos
L10G ₂	03/11/2014	1h12min
L11G ₂	12/11/2014	1h52min
L12G ₂	27/11/2014	2h09min
L13G ₂	01/11/2014, 03/11/2014	1h48min, 58 minutos
L14G ₃	13/11/2014	2h02min
L15G ₃	06/11/2014	57min
L16G ₃	28/11/2014	1h33min
L17G ₃	30/10/2014	1h55min
L18G ₃	11/11/2014	1h04min
L19G ₃	28/11/2014	56min
L20G ₃	12/11/2014	1h49min
L21G ₃	31/10/2014	1h54min

Fonte: Dados da pesquisa

De acordo com o quadro 05, quatro licenciandos jogaram mais vezes o jogo digital: L3G₁ e L13G₂, devido ao horário indisponível no primeiro dia, retornaram a jogar; L4G₁ e L9G₂, a fim de concluir o objetivo final, jogaram mais vezes. Destes, somente L3G₁ não avançou o nível 4 do jogo; L4G₁ e L9G₂ chegaram ao nível 4, mas não concluíram; somente L13G₂ chegou ao nível 5 e concluiu o objetivo final do jogo, obtendo 75 pontos. Todos os participantes chegaram ao nível 4 do jogo digital, porém nem todos chegaram ao nível 5.

As entrevistas foram agendadas conforme a disponibilidade de horário dos acadêmicos. Foi reportado a todos os participantes que poderiam jogar à vontade, que decidissem a hora de encerrar o jogo. Por isso, conforme o quadro 04, percebemos que o jogo digital Cinética Química foi envolvente, porque proporcionou satisfação, prazer, motivação e algo a ser feito (PRENSKY, 2012) para os participantes almejarem jogar novamente.

Os desenhos construídos pelos participantes das previsões de trajetórias foram filmados, a fim de confrontar se a previsão feita no desenho estava de acordo ou era como os jogadores imaginavam após jogar cada nível do jogo digital. Para isso, também foram filmados os participantes jogando os níveis (1, 2, 3, 4 e 5) e foi gravada a realização das entrevistas

semiestruturadas. Durante as entrevistas, também anotamos o desempenho dos participantes durante os níveis do jogo (Apêndice 07).

Apresentaremos a análise e estruturação dos dados.

5.8 PROCEDIMENTOS DE TRATAMENTO DOS DADOS PARA ANÁLISE

A maioria das pesquisas sociais se baseia em dados sociais, os quais podem ser obtidos e construídos nos processos de comunicação (BAUER; GASKELL, 2002). “Na pesquisa social, estamos interessados na maneira como as pessoas espontaneamente se expressam e falam sobre o que é importante para elas e como elas pensam sobre suas ações e as dos outros” (BAUER; GASKELL, 2002, p. 5).

Bauer e Gaskell (2002) distinguem dois dados sociais: a comunicação informal (entrevistas, desenhos de crianças, rabiscos feitos ao telefonar, cantos espontâneos e outros) e a comunicação formal (jornais, programas de rádio, quadro, fotografias, escritos musicais e outros). Segundo os autores, há três meios, com os quais os dados podem ser construídos: textos, imagens e materiais sonoros.

Nesta pesquisa de cunho qualitativo, optamos pelo tipo de comunicação informal, uma vez que os dados foram obtidos por meio das várias estratégias mencionadas na metodologia.

Para organizar, estruturar, analisar e discutir os dados obtidos, optamos pela Análise de Conteúdo segundo Bardin (2011). A seguir, apresentamos como surgiu a Análise de Conteúdo (AC), o que é e para que serve, as razões e finalidades pelas quais recorremos a este instrumento, ou seja, seus métodos e técnicas para estruturar e analisar os dados obtidos.

5.9 A ANÁLISE DE CONTEÚDO

Segundo Bardin (2011), a análise de conteúdo surgiu a partir de um contexto hermenêutico, uma prática antiga de interpretar textos sagrados, religiosos ou misteriosos; a precisão histórica das várias maneiras de interpretar os textos, em certa medida seriam análises de conteúdo prematuras, como alguns casos isolados.

Por exemplo, a pesquisa de autenticidade feita na Suécia por volta de 1640 sobre os hinos religiosos. Com o objetivo de se saber se esses hinos, em número de noventa, podiam ter efeitos nefastos nos Luteranos, foi efetuada uma análise dos diferentes temas religiosos, dos seus valores e das suas modalidades de aparição (favorável ou desfavorável), bem como da sua complexidade estilística (BARDIN, 2011, p. 20).

A análise de conteúdo se distinguiu dessa tradição hermenêutica na busca de respostas para a questão: “O que é passível de interpretação?” (BARDIN, 2011, p. 20). Trata-se, pois, de desvendar “Mensagens obscuras que exigem uma interpretação, mensagens com um duplo sentido cuja significação profunda (a que importa aqui) só pode surgir depois de uma observação cuidadosa [...]” (BARDIN, 2011, p. 20).

A análise de conteúdo se diferenciou de tal tradição por ter uma atitude interpretativa, a qual recebeu a contribuição de técnicas modernas desenvolvidas pelas ciências humanas no início do século XX. Pode-se mencionar: “A atitude interpretativa continua em parte a existir na análise de conteúdo, mas é sustentada por processos técnicos de validação” (BARDIN, 2011, p. 20); garantindo “cientificidade”.

Os primeiros estudos em análise de conteúdo foram desenvolvidos nos Estados Unidos, no início do século XX. Nesse momento, temos: “O primeiro nome que de fato ilustra a história da análise de conteúdo é o de H. Lasswell: fez análises de imprensa e de propaganda desde meados de 1915. Em 1927 foi editado *Propaganda Technique in the World War*” (BARDIN, 2011, p. 21, grifo da autora).

No final dos anos de 1940, a análise de conteúdo sob o ponto de vista epistemológico foi marcada por regras de análises elaboradas por E. Berelson e seu auxiliar P. Lazarsfeld (BARDIN, 2011).

Berelson, ao definir a análise de conteúdo, resumiu bem as preocupações epistemológicas desse período “[...] como uma técnica de investigação que tem por finalidade a descrição objetiva, sistemática e quantitativa do conteúdo manifesto da comunicação” (BARDIN, 2011, p. 24.). E acrescenta:

Quaisquer que sejam os progressos posteriores a Lasswell e a Berelson, os seus critérios marcam a preocupação deste período em trabalhar com amostras reunidas de maneira sistemática, a interrogar-se sobre a validade do procedimento e dos resultados, a verificar a fidelidade dos codificadores e até a medir a produtividade da análise (BARDIN, 2011, p. 25).

Posteriormente, no início dos anos de 1950, a análise de conteúdo entrou numa segunda fase; dois modelos de comunicação foram confrontados no plano epistemológico: o modelo “instrumental”, representado por George e Mahl, e o modelo “representacional”, defendido por Osgood (BARDIN, 2011). Para entendê-los melhor, um resumo é apresentado.

De maneira grosseira, arrogamo-nos o direito de dizer que “representacional” significa que o ponto importante no que diz respeito à comunicação é o revelado pelo conteúdo dos *itens* lexicais nela presentes, isto é, que algo nas palavras da mensagem permite ter indicadores válidos sem que se considerem as circunstâncias, sendo a mensagem o que o analista observa. *Grosso modo*, “instrumental” significa que o

fundamental não é aquilo que a mensagem diz à primeira vista, mas o que ela veicula, dados o seu contexto e as suas circunstâncias (POLL, 1959 apud BARDIN, 2011, p. 26, grifo do autor).

Ao mesmo tempo, também teve, no plano metodológico, arguições entre as abordagens qualitativa e quantitativa.

Na análise quantitativa, o que serve de informação é a *frequência* com que surgem certas características do conteúdo. Na análise qualitativa é a *presença* ou a *ausência* de uma característica de conteúdo ou de um conjunto de características num determinado fragmento de mensagem que é tomada em consideração (GEORGE, 1959 apud BARDIN, 2011, p. 26, grifo da autora).

Nesse cenário, a análise de conteúdo se “desbloqueia”, não sendo mais considerada como uma conquista descritiva, porque se torna a consciência de sua função e objetivo, que é a *inferência* (BARDIN, 2011, grifo da autora). Além disso, “[...] toma-se consciência de que, a partir dos resultados da análise, se pode regressar às causas, ou até descer aos efeitos das características das comunicações (BARDIN, 2011, p. 27).

A partir de 1960 e começo da década de 70, três fatores prejudicam a investigação e a prática da AC, tais como: “O primeiro é o recurso ao computador, o segundo, o interesse pelos estudos que dizem respeito à comunicação não verbal e o terceiro é a inviabilidade de precisão dos trabalhos linguísticos” (BARDIN, 2011, p. 28).

Se, por um lado, a utilização do computador veio oferecer novas possibilidades, como tratar quantidade de dados impossíveis de manipular manualmente, por outro exigiu um acréscimo de rigor. “Uma vez que permite apurar a contagem por frequência, o computador leva-nos a pôr questões sobre a ponderação ou a distribuição das unidades de registro, assim como a ultrapassar a dicotomia análise quantitativa/análise qualitativa” (BARDIN, 2011, p. 28).

Após meados da década de 70, a análise de conteúdo, ainda sendo perseguida com empenho, conseguiu popularidade a partir de Bardin e aos poucos foi se definindo e alcançando relações com outras áreas, como a sociologia, psicoterapia, história, psicologia, literatura, política, publicidade (BARDIN, 2011).

Em cada contexto, “[...] as ciências humanas facultam um instrumento: a *análise de conteúdo* de comunicações. Esta técnica, ou melhor estas técnicas implicam um trabalho exaustivo com as suas divisões, cálculos e aperfeiçoamentos incessantes do *métier*” (BARDIN, 2011, p. 33, grifo da autora).

A análise de conteúdo tem conquistado grande desenvolvimento tanto na abordagem quantitativa (trabalha com operações estatísticas e provas de validação) como na qualitativa (exige metodologias, recomendações e etapas necessárias para sua prática), caracterizando,

assim, a pesquisa em ciências humanas. Dessa forma, de acordo com o objetivo do pesquisador, ambas podem ser desenvolvidas em conjunto.

Para analisar o material coletado nesta pesquisa, optamos pela conceituação e técnica de análise de conteúdo proposta por Bardin (2011), porque é a mais preconizada nas pesquisas no Brasil. Contudo é importante salientar que, para enriquecer o entendimento do assunto, trazemos no decorrer do texto outros autores que abordam a análise de conteúdo.

Conforme Bardin (2011, p. 44, grifo da autora), a análise de conteúdo é “[...] um conjunto de técnicas de análises das comunicações que utiliza procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens”.

A análise de conteúdo “[...] é um dos procedimentos clássicos para analisar o material textual, não importando qual a origem desse material” (FLICK, 2009, p. 291). Por isso, ela é “[...] compreendida muito mais como um conjunto de técnicas” (MINAYO, 2001, p. 74).

Segundo Moraes (1999, p. 2), a análise de conteúdo é “[...] uma metodologia de pesquisa usada para descrever e interpretar o conteúdo de toda classe de documentos e textos. [...] ajuda a reinterpretar as mensagens e a atingir uma compreensão de seus significados num nível que vai além de uma leitura comum”.

Para Severino (2007, p.121), a análise de conteúdo é “uma metodologia de tratamento e análise de informação a constante de um documento, sob formas de discursos pronunciados em diferentes linguagens”.

A definição de Bardin caracteriza a análise de conteúdo com algumas especificidades especiais, “[...] uma delas é o de ser um meio para estudar as comunicações entre os homens, colocando ênfase no conteúdo das mensagens” (TRIVIÑOS, 1987, p. 160). Então, o nosso objetivo de “[...] usar o método de análise de conteúdo nas mensagens escritas, é porque estas são mais estáveis e constituem um material objetivo ao qual podemos voltar todas as vezes que desejarmos” (TRIVIÑOS, 1987, p. 160).

Neste contexto, o objeto “[...] da análise de conteúdo é a fala, isto é, o aspecto individual e atual (em ato) da linguagem”. [...] trabalha a fala, quer dizer, a prática da língua realizada por emissores codificáveis” (BARDIN, 2011, p. 49). Além disso, “[...] a análise de conteúdo leva em consideração as significações (conteúdo), eventualmente a sua forma e a distribuição desses conteúdos e formas [...]” (BARDIN, 2011, p. 49).

Assim, ao utilizar a AC, o pesquisador precisa elucidar tanto o tipo de “fala” que procura como a interpretação pretendida como objetivo, ou seja, procurar “[...] conhecer aquilo que está por trás das palavras sobre as quais se debruça. [...] é uma busca de outras realidades *por meio* das mensagens” (BARDIN, 2011, p. 50, grifo da autora).

Chizzotti (2006, p. 98) também cita que “o objetivo da análise de conteúdo é compreender criticamente o sentido das comunicações, seu conteúdo manifesto ou latente, as significações explícitas ou ocultas”.

De acordo com Bardin (2011, p. 35, grifo da autora), “[...] a sutileza dos métodos de análise de conteúdo corresponde aos seguintes objetivos:”

- *A superação da incerteza*: o que eu julgo ver na mensagem estará lá efetivamente contido, podendo esta “visão” muito pessoal ser partilhada por outros? Por outras palavras, será a minha leitura válida e generalizável?
- *E o enriquecimento da leitura*: se um olhar imediato, espontâneo, é já fecundo, não poderá uma leitura atenta aumentar a produtividade e a pertinência? Pela descoberta de conteúdos e de estruturas que confirmam (ou infirmam) o que se procura demonstrar a propósito das mensagens, ou pelo esclarecimento de elementos de significações suscetíveis de conduzir a uma descrição de mecanismos de que *a priori* não possuíamos a compreensão (BARDIN, 2011, p. 35, grifo da autora).

Tendo em vista os assuntos evidenciados, reportamos a sequência de passos preconizada por Bardin (2011) para tratar os dados para análise. Também esclarecemos que a abreviação AC será empregada para referir: análise de conteúdo.

5.9.1 A organização da análise de conteúdo

Segundo Bardin (2011), a análise de conteúdo perpassa por três fases de organização: a pré-análise; a exploração do material; o tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação. Vamos apresentá-las de modo consecutivo.

5.9.1.1 A pré-análise

A pré-análise conta com subfases as quais o pesquisador as delimitará conforme seus objetivos. Bardin (2011) as descreve como sendo:

- a) A leitura “flutuante”;
- b) A escolha dos documentos;
 - Regra da exaustividade;
 - Regra da representatividade;
 - Regra da homogeneidade;
 - Regra de pertinência;
- c) A formulação das hipóteses e dos objetivos;
- d) A referenciação dos índices e a elaboração de indicadores;
- e) A preparação do material.

Diante dos dados coletados, estruturamos as diferentes fases da análise de conteúdo, iniciando com a pré-análise, “[...] esta primeira fase possui três dimensões: a escolha dos documentos a serem submetidos à análise, a formulação das hipóteses e dos objetivos e a elaboração de indicadores que fundamentem a interpretação final” (BARDIN, 2011, p. 125, grifo da autora).

Na pré-análise, o objetivo é organizar os dados (BARDIN, 2011). Portanto, primeiramente, recorrendo a um computador e impressora com escâner, convertemos na íntegra todos os desenhos construídos pelos participantes no início das entrevistas semiestruturadas para a forma digital. Depois, transcrevemos na íntegra, todos os dados coletados nas entrevistas semiestruturadas e no questionário participante da pesquisa.

Após os dados serem transcritos no computador, imprimimos para realizar a primeira subfase, ou seja, uma leitura “flutuante”, para estabelecer o contato, analisar e conhecer o texto, a fim de se deixar invadir por impressões e orientações (BARDIN, 2011).

Com a segunda subfase demarcada, ou seja, a escolha dos documentos como os desenhos, falas obtidas dos participantes nas entrevistas semiestruturadas e respostas ao questionário, procedemos à constituição do *corpus*, que é “[...] o conjunto dos documentos tidos em conta para serem submetidos aos procedimentos analíticos” (BARDIN, 2011, p. 126).

De outro modo, Bauer e Gaskell (2002, p. 192) citam que o *corpus* “é a representação e a expressão de uma comunidade que escreve. Sob esta luz, o resultado de uma AC é a variável dependente, a coisa a ser explicada”.

A constituição do “*corpus*” foi orientada por algumas das principais regras descritas por Bardin (2011). Por exemplo, na regra da exaustividade, “[...] é preciso ter-se em conta todos os elementos desse corpus. Em outras palavras, não se pode deixar de fora qualquer um dos elementos por esta ou aquela razão [...]” (BARDIN, 2011, p. 126-127).

Sendo assim, esgotamos a totalidade dos desenhos, das falas obtidas nas entrevistas, não omitindo nada, bem como das respostas ao questionário - participante da pesquisa.

Na regra da homogeneidade, “[...] os documentos retidos devem ser homogêneos, isto é, devem obedecer a critérios precisos de escolha e não apresentar demasiada singularidade fora desses critérios” (BARDIN, 2011, p. 128). Na regra de pertinência, “[...] os documentos retidos devem ser adequados, enquanto fonte de informação, de modo a corresponderem ao objetivo que suscita a análise” (BARDIN, 2011, p. 128).

Nestas duas regras, o “*corpus*” foi constituído seguindo os critérios conforme o objetivo e questões de pesquisa. Portanto, todos os desenhos obtidos foram digitalizados integralmente; as falas também foram transcritas na íntegra, sem recortes.

Diante da constituição e finalização do “corpus”, iniciamos a segunda fase, que foi a exploração do material.

5.9.1.2 A exploração do material

Na exploração do material, realizamos várias leituras a fim de tratar o material (“corpus” constituído) para fazer os recortes, categorizar e codificar (BARDIN, 2011). A autora elucida que “a *codificação* corresponde a uma transformação – efetuada segundo regras precisas – dos dados brutos do texto, transformação esta que, por recorte, agregação e enumeração, permite atingir uma representação do conteúdo ou da sua expressão [...]” (BARDIN, 2011, p. 133, grifo da autora). E, “a *categorização* é uma operação de classificação de elementos constitutivos de um conjunto por diferenciação e, em seguida, por reagrupamento segundo o gênero (analogia), com os critérios previamente definidos” (BARDIN, 2011, p. 147, grifo da autora).

No questionário referente aos participantes da pesquisa, apresentamos individualmente alguns dados, como idade, gênero, etc., não havendo, por isso, categorias ou subcategorias.

Para análise e discussão dos desenhos construídos pelos participantes, construímos um padrão a partir de cada etapa; conseqüentemente não há subcategorias.

Para analisar as falas obtidas nas entrevistas semiestruturadas, utilizamos a análise categorial, porque “esta pretende tomar em consideração a totalidade de um “texto”, passando-o pelo crivo da classificação e do recenseamento, segundo a frequência de presença (ou de ausência) de itens de sentido” (BARDIN, 2011, p. 43).

A análise categorial é “[...] um método taxonômico bem concebido para satisfazer os colecionadores preocupados em introduzir uma ordem, segundo certos critérios [...]” (BARDIN, 2011, p. 43).

Conforme o objetivo da pesquisa e o referencial teórico da cinética dos gases, duas categorias foram definidas a priori: conceito de aleatoriedade e conceito de irreversibilidade.

Com o método das *categorias* definidas, buscamos, durante a exploração do “corpus” constituído, encontrar expressões ou palavras significativas no conteúdo das falas dos (as) participantes que reportassem aos conceitos científicos investigados. Para isso, utilizamos como critério para recortar, codificar e organizar as subcategorias, o do tipo “[...] léxico (classificação das palavras segundo o seu sentido, com emparelhamento dos sinônimos e dos sentidos próximos) [...]” (BARDIN, 2011, p. 147).

Os recortes e agrupamentos das subcategorias (falas/respostas dos participantes – “corpus”) foram feitas de acordo com as unidades de registro que “é a unidade de significação

codificada e corresponde ao segmento de conteúdo considerado unidade de base, visando a categorização e a contagem frequencial” (BARDIN, 2011, p. 134).

Durante a exploração do “corpus”, realizamos os recortes e agrupamos as subcategorias a partir da combinação de dois tipos de unidade de registro: “*o personagem*” e “*a palavra*”. A unidade de registro “*o personagem*” trata das falas dos participantes da pesquisa e a unidade “*a palavra*” refere as palavras-chave utilizadas pelos participantes as quais remetem às categorias estabelecidas “a priori” (BARDIN, 2011).

O primeiro critério para constituir as categorias “a priori” foi fornecido a partir do objetivo da pesquisa, tendo como fundamentação teórica o conceito científico de aleatoriedade e irreversibilidade segundo a teoria cinética dos gases. Depois, as subcategorias foram emergidas na exploração do “corpus” constituído que encontramos nas falas dos participantes, o emprego de palavras, tais como: movimento aleatório, choque elástico, meio aleatório, sem ordem, mistura, bagunça, desordenado, espalhado.

Verificamos que as palavras emitidas pelos participantes remetem a discursos distintos. Então, a fim de recortar, organizar e denominar as subcategorias, primeiramente fizemos a leitura de alguns trabalhos desenvolvidos por Mortimer (1995, 2000, 2010).

Segundo Mortimer (2010, p. 181), “a maioria dos conceitos científicos faz parte de um perfil conceitual. A abordagem dos perfis conceituais é baseada, precisamente, na ideia de que as pessoas exibem diferentes maneiras de ver e conceitualizar o mundo [...]”.

Vimos que a preocupação central da epistemologia genética de Piaget é estudar as origens do conhecimento; nesse sentido, o perfil conceitual de Mortimer (2010) corrobora com as ideias de Piaget, pois na citação de Mortimer entendemos que os “modos de pensar são tratados como zonas de estabilidade no pensamento conceitual dos indivíduos, intimamente relacionados a significados socialmente construídos que podem ser atribuídos aos conceitos” (MORTIMER, 2010, p. 182). O autor explicita:

Inúmeros “termos científicos” são também aplicados nas experiências cotidianas, seja porque são palavras da linguagem comum das quais a ciência se apropriou, como “*adaptação*”, seja porque são palavras da ciência que foram tomadas para si pela linguagem comum, como “*gene*”. Nestes casos, os perfis conceituais são ainda mais ricos e a distinção entre significados diferentes e os domínios apropriados de sua aplicação se torna ainda mais complicada (MORTIMER, 2010, p. 182).

Nesse contexto, segundo o objetivo da pesquisa, a partir dos conceitos científicos de aleatoriedade e irreversibilidade presentes na teoria cinética dos gases, pudemos, a partir da classificação do tipo léxico proposto por Bardin (2011), classificar as palavras enunciadas pelos

participantes segundo o seu sentido, com emparelhamento dos sinônimos e dos sentidos próximos. Desse modo, optamos por denominar as subcategorias como: discurso de gênero científico (palavras que aludem ao conceito científico das categorias investigadas), discurso próximo do gênero científico (palavras que se aproximam do conceito científico investigado), discurso de senso comum (palavras que podem ser utilizadas no dia a dia para explicar outros acontecimentos) e discurso não elucidativo (palavras que não explicam os conceitos investigados).

Segundo Bardin (2011), um conjunto de boas categorias deve possuir algumas qualidades; nesse caso, reportamos as subcategorias, as quais foram organizadas, conforme as unidades de registro, seguindo estas qualidades:

- *A exclusão mútua:* esta condição estipula que cada elemento não pode existir em mais de uma divisão.
- *A homogeneidade:* [...]. Num mesmo conjunto categorial só se pode funcionar com um registro e com uma dimensão da análise.
- *A pertinência:* uma categoria é considerada pertinente quanto está adaptada ao material de análise escolhido, e quando pertence ao quadro teórico definido.
- *A objetividade e a fidelidade:* [...]. As diferentes partes de um mesmo material, ao qual se aplica a mesma grade categorial, devem ser codificadas da mesma maneira, mesmo quando submetidas às várias análises.
- *A produtividade:* [...]. Um conjunto de categorias é produtivo se fornece resultados férteis: em índices de inferências, em hipóteses novas e em dados exatos (BARDIN, 2011, p. 149- 150, grifo da autora).

Diante a conclusão das duas primeiras fases de organização dos dados, a pré-análise e a exploração do material, seguimos com o tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação.

5.9.1.3 O tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação

A terceira fase, diz respeito ao tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação. É destinada ao tratamento dos dados obtidos a fim de sintetizar e destacar as informações para análise, o momento da intuição, da análise reflexiva e da crítica (BARDIN, 2011).

Com a finalidade de encontrar e tornar significativos e válidos os dados obtidos nas falas dos entrevistados selecionados na exploração do material, realizamos a inferência que “[...] é aquele processo mediante o qual o analista obtém informações suplementares, resultantes de sua visão crítica de uma mensagem. [...]. A partir dos trechos que foram selecionados, ao fazer a inferência o pesquisador expressa sua visão particular do objeto de estudo [...]” (GOULART, 2006, p. 169).

Segundo Bardin (2011, p. 44, grifo da autora), “a intenção da análise de conteúdo é a *inferência de conhecimentos relativos às condições de produção (ou, eventualmente, de recepção), inferência esta que recorre a indicadores (quantitativos ou não)*”.

Além disso, para a autora, “[...] pode dizer-se que o que caracteriza a análise qualitativa é o fato de a “inferência – sempre que é realizada – ser fundada na presença do índice (tema, palavra, personagem etc.), e não sobre a frequência da sua aparição, em cada comunicação individual” (BARDIN, 2011, p. 146).

Dado o exposto, no tratamento das mensagens/falas dos participantes durante as entrevistas semiestruturadas, realizamos a *inferência* a partir das categorias “a priori”, ou seja, investigamos a presença (ou ausência) de palavras emitidas que pudessem descrever o conhecimento científico investigado, a fim de responder as questões de pesquisa fundamentais.

A partir das inferências obtidas, partimos para as interpretações, que “[...] consiste no estabelecimento de uma relação entre a análise de resultados que foi feita pelo pesquisador, com base na sua leitura da realidade, e a teoria que fundamenta sua pesquisa” (GOULART, 2006, p. 170-171). Sempre houve como foco a fundamentação teórica, para interpretar, analisar e discutir os resultados obtidos.

Para melhor apresentação da organização dos dados descritos até o momento, primeiro apresentamos como foi elaborado o padrão de análise de desenhos a partir da figura 05 (etapas 1A, 1B, 1C e 1D), para, posteriormente, utilizar o padrão a fim de analisar e discutir os desenhos construídos pelos participantes nas etapas construídas do jogo digital.

Em segundo, apresentamos em quadros, as categorias referentes aos conceitos investigados, as subcategorias emergidas das falas dos (as) participantes e as unidades de registro, quantitativamente. É importante ressaltar que, logo em seguida, trazemos as unidades de registro individualmente para cada participante, identificado por códigos.

Em terceiro, apresentamos como foi elaborado o padrão de análise de desenhos a partir dos níveis 1, 2, 3, 4 e 5 (figuras 07, 08, 09, 10 e 11, consecutivamente), para posteriormente utilizar o padrão a fim de analisar e discutir os desenhos construídos pelos participantes na aplicação dos níveis do jogo digital.

5.9.2 A Construção do Padrão de análise para desenhos (Etapas 1A, 1B, 1C, 1D)

A questão com a qual culminou a análise dos desenhos foi a de número 1 (Apêndice 05): *De acordo com a tela do computador, faça um desenho de como as partículas vão se comportar ao apertarmos o botão começar*. Para analisar os dados obtidos por meio desta

pergunta, construímos um padrão de análise. A pergunta de número 2, apêndice 05 (*Quais foram as razões que o (a) levaram a desenhar essas trajetórias?*), não culminou em subcategorias, pois complementam as discussões com as análises dos desenhos.

O padrão de análise dos desenhos foi construído a partir da figura 05 (etapas 1A, 1B, 1C e 1D). Assim, primeiro, dividimos a figura que corresponde à etapa 1A, por exemplo, em quatro partes, denominadas de quadrante I, II, III e IV, as quais correspondem ao número de partículas em cada espaço.

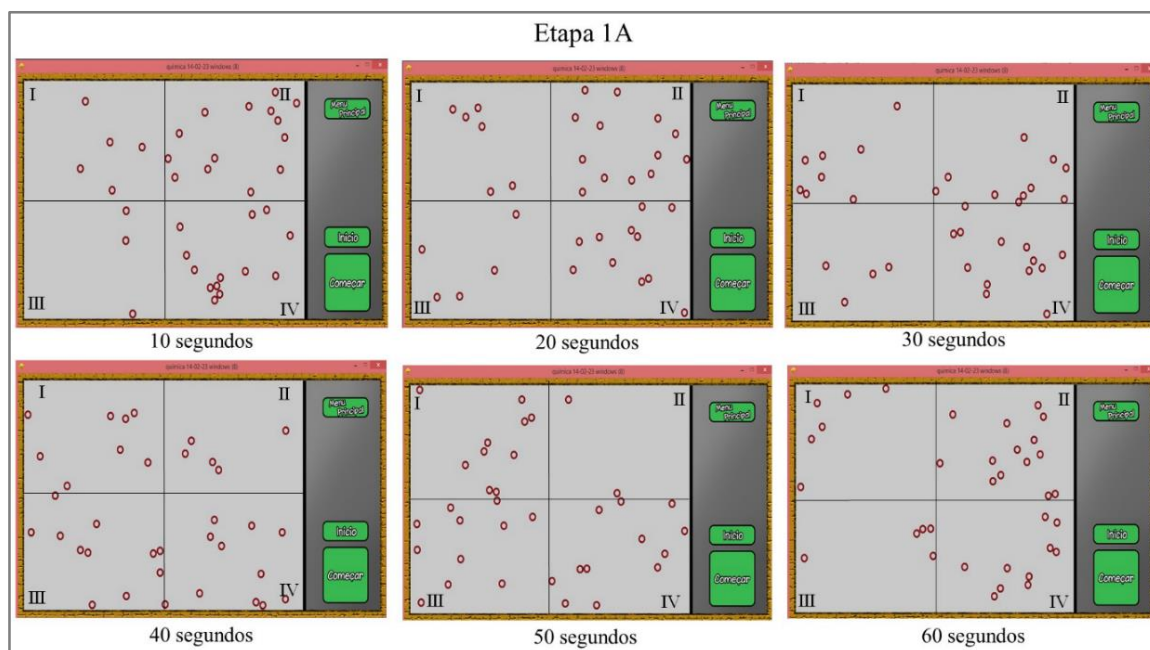
Depois, estipulamos aleatoriamente intervalos de tempos em segundos. Acertados os quadrantes e os tempos, iniciamos a criação do padrão da seguinte maneira: apertamos a tecla começar com o “mouse” do “notebook” e cronometramos o tempo, iniciando as simulações do movimento aleatório das partículas. Assim, por exemplo, ao chegar o tempo de 10 segundos, apertamos no “notebook”, a tecla “PrntScr”, para obtermos o número de partículas em cada quadrante I, II, III e IV. Este roteiro foi realizado para os demais tempos e etapas.

Conforme a figura 12, podemos verificar que, em determinados tempos (segundos), o número de partículas em cada quadrante I, II, III e IV varia. Este fato ocorre por causa das características aleatória e irreversível do sistema, segundo os princípios da TCG.

Apresentamos, consecutivamente, as figuras com o tempo em segundos e o número de partículas nos quadrantes e os quadros com a média do número de partículas nos quadrantes obtidos a partir da figura conforme as etapas construídas 1A, 1B, 1C, 1D do jogo digital.

Por fim, resumimos em um único quadro as médias obtidas nos quadros.

Na figura 12, tem-se a faixa de tempo entre 10 e 60 segundos e o número de partículas correspondente aos quadrantes I, II, III e IV da etapa 1A.

Figura 12: Etapa 1A: número de partículas nos quadrantes (tempo entre 10 e 60 segundos)

Fonte: Dados da pesquisa

No quadro 06, elucidamos os tempos (segundos) e as médias obtidas nos quadrantes a partir da figura 12.

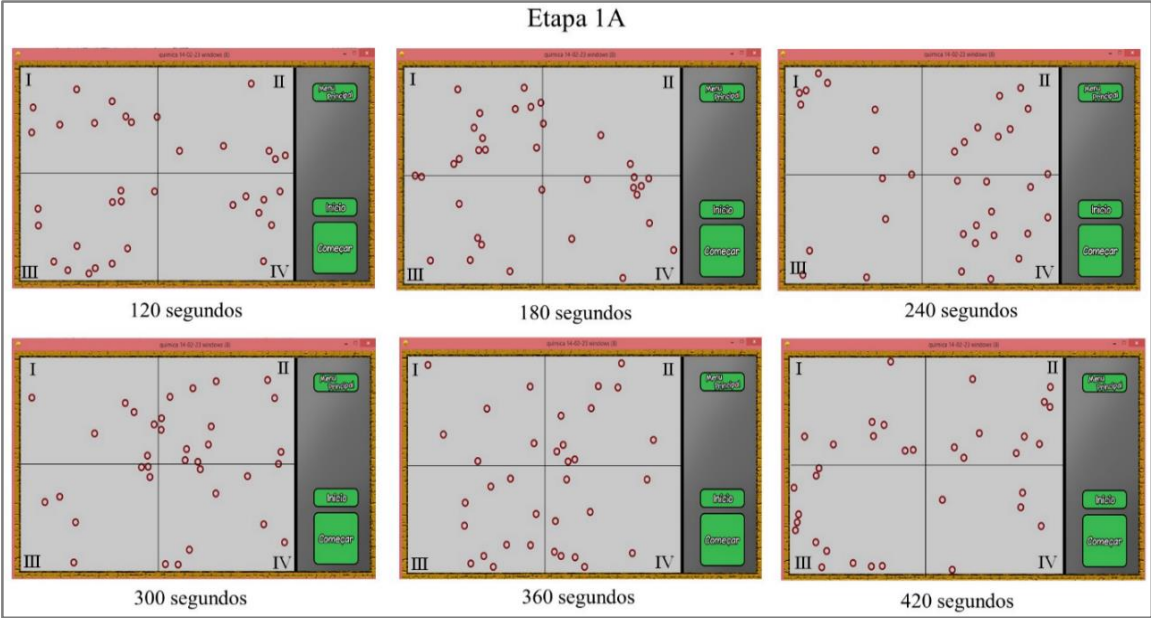
Quadro 06: Etapa 1A: média do número de partículas obtidas a partir da figura 12

QUADRANTE	TEMPO (Segundos)	NÚMERO DE PARTÍCULAS
I	10	05
	20	06
	30	08
	40	09
	50	10
	60	06
	-	Média = 7,33
II	10	14
	20	13
	30	10
	40	05
	50	02
	60	14
	-	Média = 9,66
III	10	03
	20	05
	30	04
	40	11
	50	11
	60	05
	-	Média = 6,5
IV	10	13
	20	11
	30	13
	40	10
	50	12
	60	10
	-	Média = 11,5

Fonte: Dados da pesquisa

Na figura 13, tem-se a faixa de tempo entre 120 e 420 segundos e o número de partículas correspondente a cada quadrante I, II, III e IV da etapa 1A.

Figura 13: Etapa 1A: número de partículas nos quadrantes (tempo entre 120 e 420 segundos)



Fonte: Dados da pesquisa

No quadro 07, elucidamos os tempos (segundos) e as médias obtidas nos quadrantes a partir da figura 13.

Quadro 07: Etapa 1A: média do número de partículas obtidas a partir da figura 13

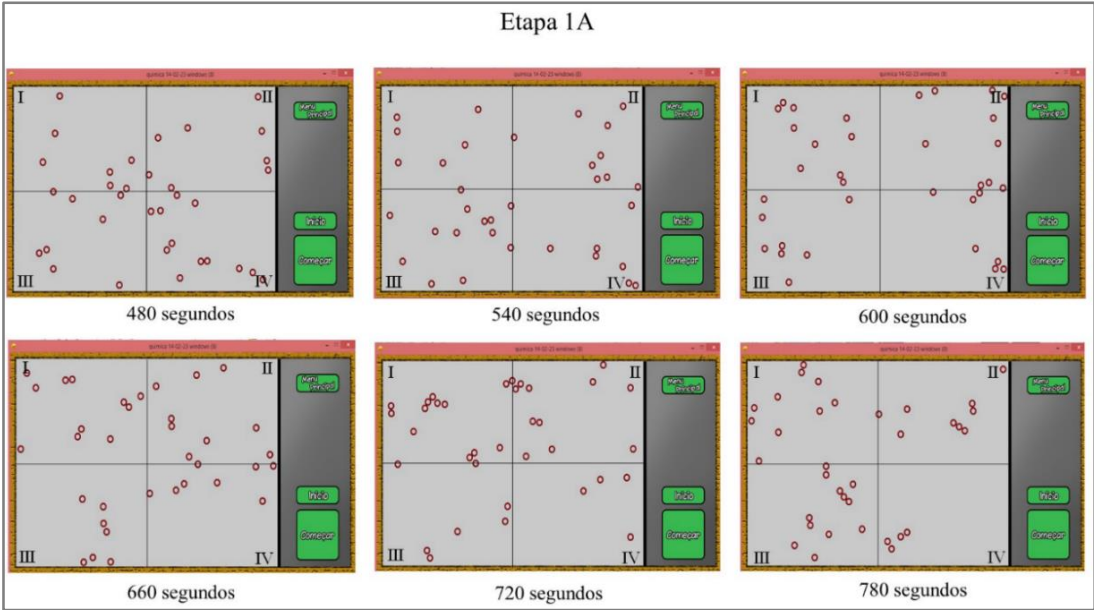
QUADRANTE	TEMPO (Segundos)	NÚMERO DE PARTÍCULAS
I	120	09
	180	14
	240	08
	300	06
	360	06
	420	08
	-	Média = 8,5
II	120	06
	180	02
	240	08
	300	13
	360	10
	420	10
	-	Média = 8,17
III	120	13
	180	09
	240	05
	300	07
	360	10
	420	12
	-	Média = 9,33
IV	120	07
	180	10
	240	14

	300	09
	360	09
	420	05
	-	Média =9

Fonte: Dados da pesquisa

Na figura 14, tem-se a faixa de tempo entre 480 e 780 segundos e o número de partículas correspondente a cada quadrante I, II, III e IV da etapa 1A.

Figura 14: Etapa 1A: número de partículas nos quadrantes (tempo entre 480 e 780 segundos)



Fonte: Dados da pesquisa

No quadro 08, elucidamos os tempos (segundos) e as médias obtidas nos quadrantes a partir da figura 14.

Quadro 08: Etapa 1A: média do número de partículas obtidas a partir da figura 14

QUADRANTE	TEMPO (Segundos)	NÚMERO DE PARTÍCULAS
I	480	07
	540	06
	600	10
	660	11
	720	13
	780	10
	-	Média = 9,5
II	480	08
	540	09
	600	10
	660	10
	720	11
	780	09
	-	Média = 9,5
III	480	08
	540	13
	600	08
	660	07

IV	720	07
	780	12
	-	Média = 9,17
	480	12
	540	07
	600	07
	660	07
	720	04
	780	04
	-	Média = 6,83

Fonte: Dados da pesquisa

A partir das médias obtidas em cada quadrante nos quadros 06, 07 e 08, organizamos em forma de tabelas, o padrão 01, da seguinte maneira: primeiro, somamos a média obtida nos quadrantes I dos quadros 06, 07 e 08, consecutivamente: $7,33 + 8,5 + 9,5 = 25,33$. Por fim, dividimos o valor de 25,33 por 3, resultando para o quadrante I, o número decimal = 8,44. Para os demais quadrantes, seguimos o mesmo procedimento.

No padrão 01, podemos encontrar uma média de 8,44 partículas no quadrante I; no quadrante II, 9,11 partículas; no quadrante III, 8,33 partículas; no quadrante IV, 9,11 partículas.

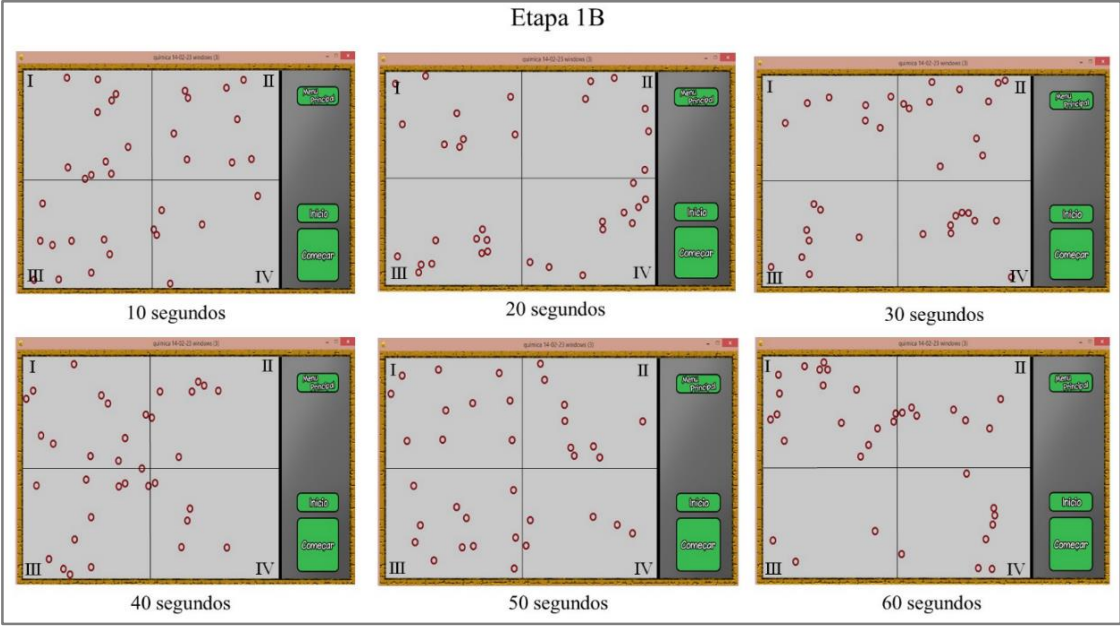
Padrão 01: Etapa 1A: número de partículas nos quadrantes

Quadrantes	Número de partículas vermelhas
I	8,44
II	9,11
III	8,33
IV	9,11

Fonte: Dados da pesquisa

Segue a construção do padrão para etapa 1B. Na figura 15, tem-se a faixa de tempo entre 10 e 60 segundos e o número de partículas correspondente a cada quadrante I, II, III e IV.

Figura 15: Etapa 1B: número de partículas nos quadrantes (tempo entre 10 e 60 segundos)



Fonte: Dados da pesquisa

No quadro 09, elucidamos os tempos (segundos) e as médias obtidas nos quadrantes a partir da figura 15.

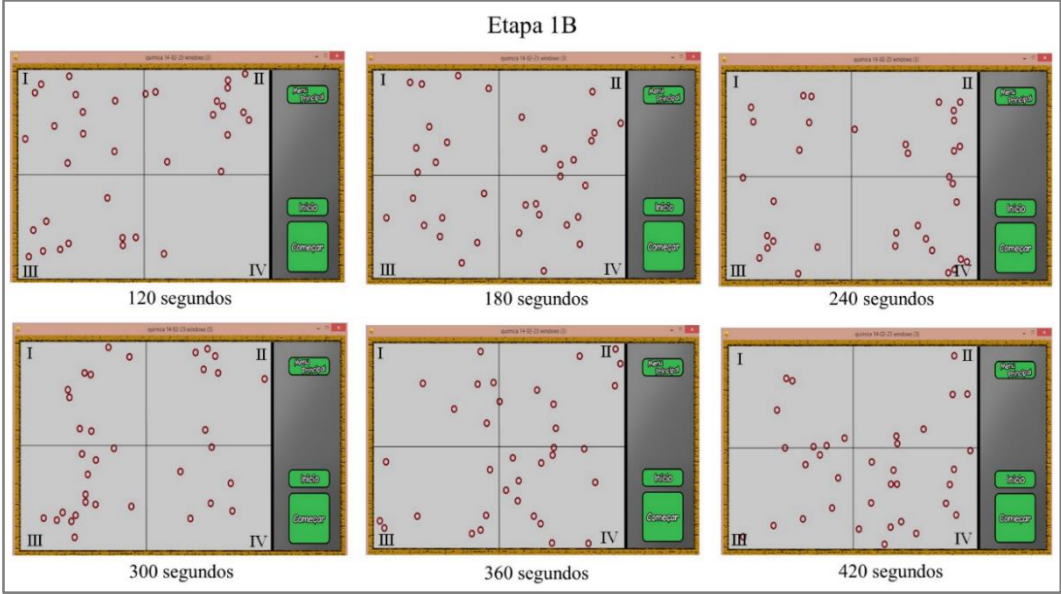
Quadro 09: Etapa 1B: média do número de partículas obtidas a partir da figura 15

QUADRANTE	TEMPO (Segundos)	NÚMERO DE PARTÍCULAS
I	10	11
	20	09
	30	07
	40	11
	50	10
	60	17
	-	Média = 10,83
II	10	09
	20	06
	30	11
	40	07
	50	09
	60	07
	-	Média = 7,33
III	10	09
	20	10
	30	08
	40	12
	50	11
	60	03
	-	Média = 8,83
IV	10	06
	20	10
	30	08
	40	05
	50	05
	60	08
	-	Média = 7

Fonte: Dados da pesquisa

Na figura 16, tem-se a faixa de tempo entre 120 e 420 segundos e o número de partículas correspondente a cada quadrante I, II, III e IV da etapa 1B.

Figura 16: Etapa 1B: número de partículas nos quadrantes (tempo entre 120 e 420 segundos)



Fonte: Dados da pesquisa

No quadro 10, elucidamos os tempos (segundos) e as médias obtidas nos quadrantes a partir da figura 16.

Quadro 10: Etapa 1B: média do número de partículas obtidas a partir da figura 16

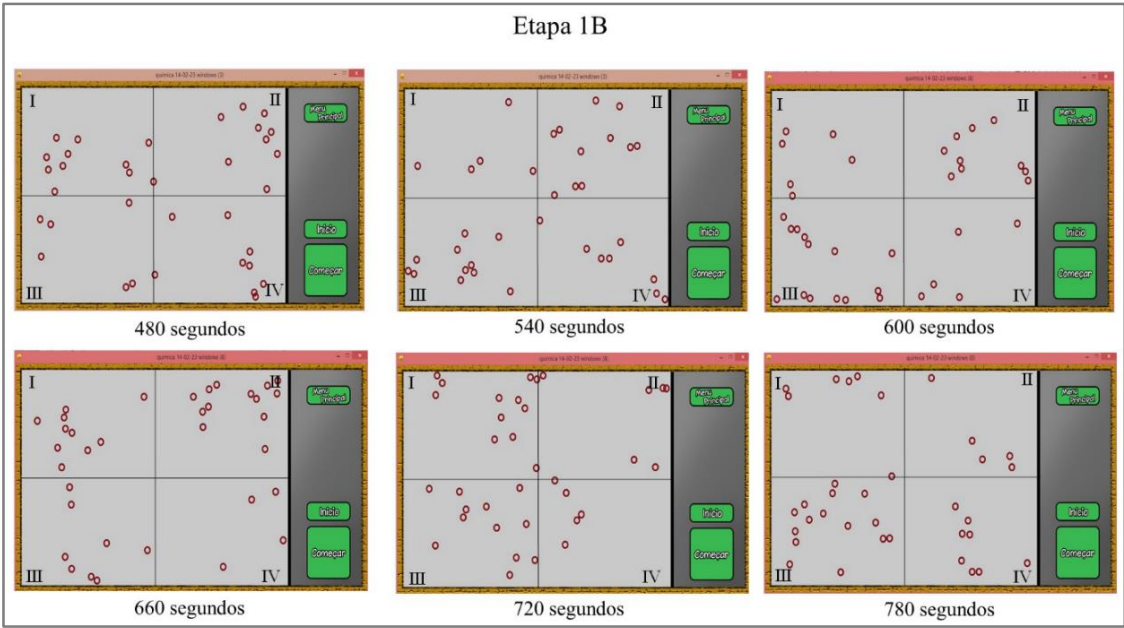
QUADRANTE	TEMPO (Segundos)	NÚMERO DE PARTÍCULAS
I	120	11
	180	09
	240	06
	300	08
	360	06
	420	06
	-	Média = 7,66
II	120	13
	180	08
	240	09
	300	07
	360	08
	420	06
	-	Média = 8,5
III	120	10
	180	08
	240	08
	300	14
	360	08
	420	07
	-	Média = 9,17
IV	120	01
	180	10
	240	12
	300	06

	360	13
	420	15
	-	Média = 9,5

Fonte: Dados da pesquisa

Na figura 17, tem-se a faixa de tempo entre 480 e 780 segundos e o número de partículas correspondente a cada quadrante I, II, III e IV da etapa 1B.

Figura 17: Etapa 1B: número de partículas nos quadrantes (tempo entre 480 e 780 segundos)



Fonte: Dados da pesquisa

No quadro 11, elucidamos os tempos (segundos) e as médias obtidas nos quadrantes a partir da figura 17.

Quadro 11: Etapa 1B: média do número de partículas obtidas a partir da figura 17

QUADRANTE	TEMPO (Segundos)	NÚMERO DE PARTICULAS
I	480	11
	540	05
	600	06
	660	10
	720	12
	780	07
	-	Média = 8,5
II	480	09
	540	11
	600	10
	660	12
	720	06
	780	05
	-	Média = 8,83
III	480	06
	540	11
	600	14
	660	08

IV	720	12
	780	15
	-	Média = 11
	480	09
	540	08
	600	05
	660	04
	720	05
	780	08
	-	Média = 6,5

Fonte: Dados da pesquisa

A partir das médias obtidas em cada quadrante nos quadros 09, 10 e 11, organizamos em forma de tabelas, o padrão 02 do mesmo modo como feito no padrão 01.

No padrão 02, podemos encontrar uma média de 8,99 partículas no quadrante I; no quadrante II, 8,22 partículas; no quadrante III, 9,66 partículas; no quadrante IV, 7,66 partículas.

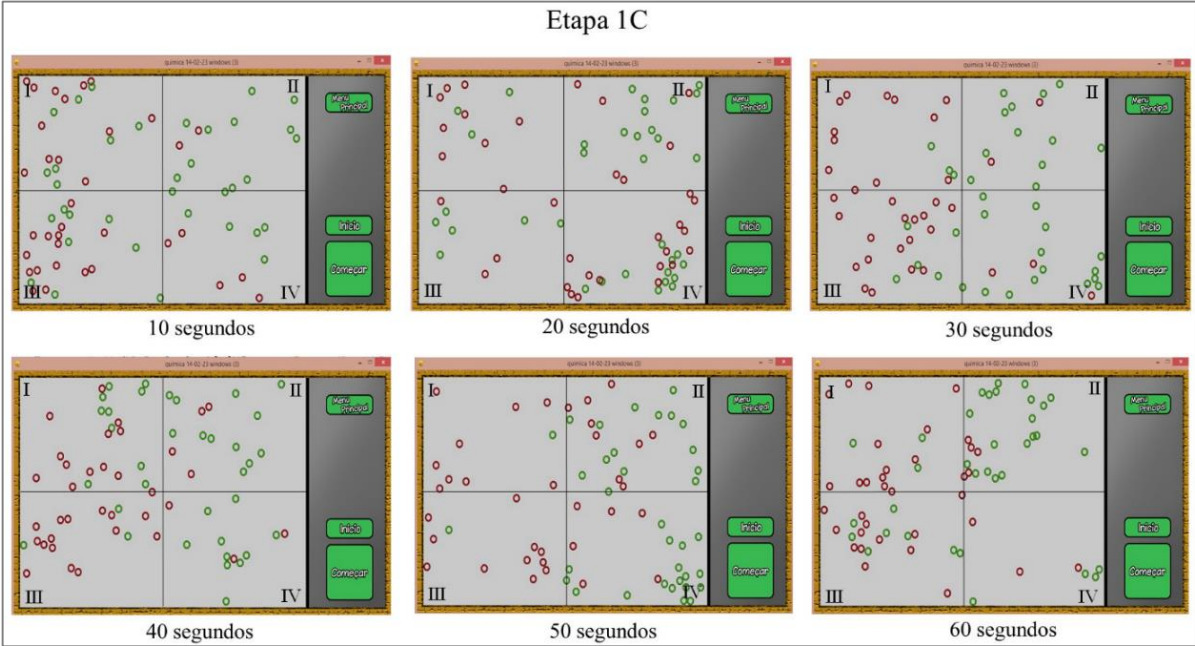
Padrão 02: Etapa 1B: número de partículas nos quadrantes

Quadrantes	Número de partículas vermelhas
I	8,99
II	8,22
III	9,66
IV	7,66

Fonte: Dados da pesquisa

Segue a construção do padrão para etapa 1C. Na figura 18, tem-se a faixa de tempo entre 10 e 60 segundos e o número de partículas correspondente a cada quadrante I, II, III e IV.

Figura 18: Etapa 1C: número de partículas nos quadrantes (tempo entre 10 e 60 segundos)



Fonte: Dados da pesquisa

No quadro 12, elucidamos os tempos (segundos) e as médias obtidas nos quadrantes a partir da figura 18.

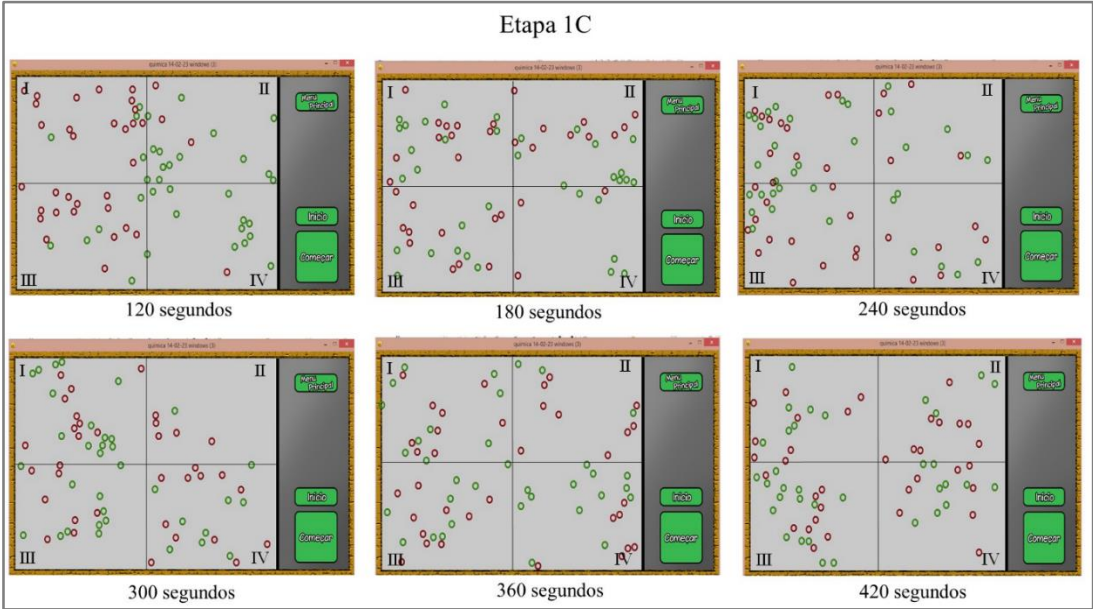
Quadro 12: Etapa 1C: média do número de partículas obtidas a partir da figura 18

QUADRANTE	TEMPO (Segundos)	NÚMEROS DE PARTÍCULAS VERMELHAS	NÚMEROS DE PARTÍCULAS VERDES
I	10	13	08
	20	09	03
	30	11	03
	40	12	10
	50	09	01
	60	14	03
	-	Média = 11,33	Média = 4,67
II	10	02	11
	20	06	14
	30	02	12
	40	04	12
	50	09	15
	60	05	20
	-	Média = 4,67	Média = 14
III	10	15	09
	20	04	06
	30	19	05
	40	16	03
	50	10	01
	60	14	08
	-	Média = 13	Média = 5,33
IV	10	05	07
	20	16	12
	30	03	15
	40	03	10
	50	06	19
	60	03	04
	-	Média = 6	Média = 11,17

Fonte: Dados da pesquisa

Na figura 19, tem-se a faixa de tempo entre 120 e 420 segundos e o número de partículas correspondente a cada quadrante I, II, III e IV da etapa 1C.

Figura 19: Etapa 1C: número de partículas nos quadrantes (tempo entre 120 e 420 segundos)



Fonte: Dados da pesquisa

No quadro 13, elucidamos os tempos (segundos) e as médias obtidas nos quadrantes a partir da figura 19.

Quadro 13: Etapa 1C: média do número de partículas obtidas a partir da figura 19

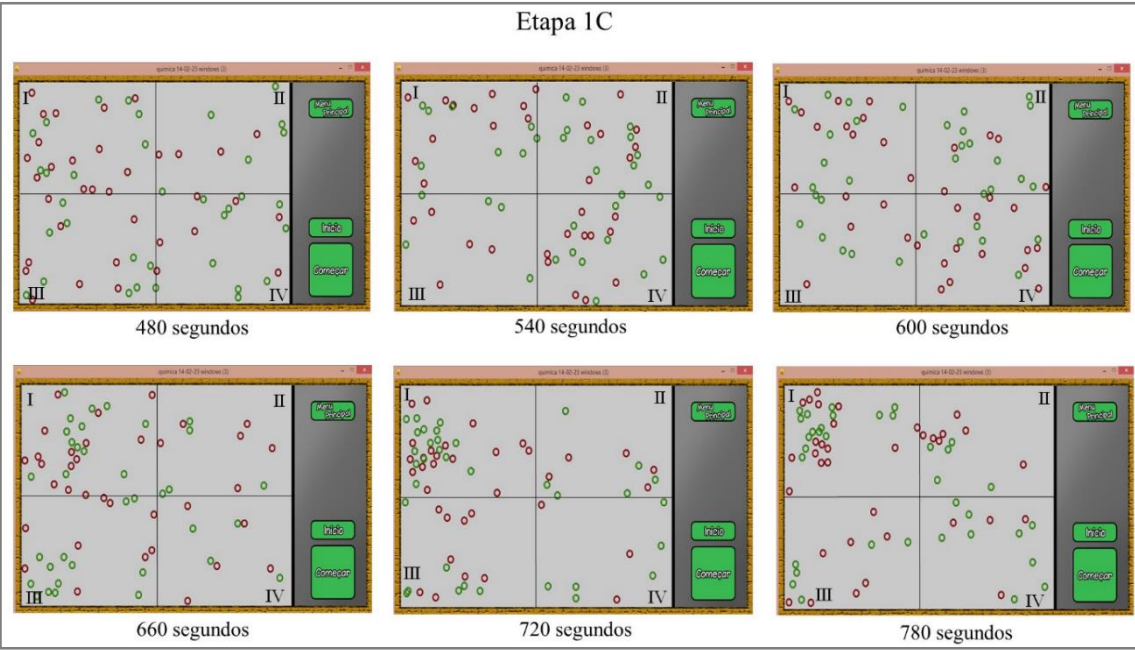
QUADRANTE	TEMPO (Segundos)	NÚMERO DE PARTÍCULAS VERMELHAS	NÚMERO DE PARTÍCULAS VERDES
I	120	16	04
	180	11	11
	240	10	14
	300	10	14
	360	09	10
	420	09	07
	-	Média = 10,83	Média = 9,83
II	120	03	14
	180	10	10
	240	05	06
	300	05	01
	360	09	03
	420	09	04
	-	Média = 6,83	Média = 6,33
III	120	15	05
	180	11	07
	240	13	09
	300	08	11
	360	10	09
	420	09	15
	-	Média = 11	Média = 9,33
	120	01	12
	180	03	06

IV	240	06	06
	300	12	09
	360	07	13
	420	07	09
	-	Média = 6	Média = 9,17

Fonte: Dados da pesquisa

Na figura 20, tem-se a faixa de tempo entre 480 e 780 segundos e o número de partículas correspondente a cada quadrante I, II, III e IV da etapa 1C.

Figura 20: Etapa 1C: número de partículas nos quadrantes (tempo entre 480 e 780 segundos)



Fonte: Dados da pesquisa

No quadro 14, elucidamos os tempos (segundos) e as médias obtidas nos quadrantes a partir da figura 20.

Quadro 14: Etapa 1C: média do número de partículas obtidas a partir da figura 20

QUADRANTE	TEMPO (Segundos)	NÚMERO DE PARTÍCULAS VERMELHAS	NÚMERO DE PARTÍCULAS VERDES
I	480	15	09
	540	11	08
	600	11	09
	660	15	13
	720	17	16
	780	16	15
	-	Média = 14,17	Média = 11,67
II	480	04	06
	540	07	11
	600	05	12
	660	06	05
	720	05	06
	780	07	05
	-	Média = 5,71	Média = 8,57

	-	Média = 5,67	Média = 7,5
III	480	09	09
	540	05	05
	600	05	07
	660	09	13
	720	09	07
	780	08	06
	-	Média = 7,5	Média = 7,83
	480	07	11
	540	11	11
	600	14	07
	660	05	04
	720	03	06
	780	04	09
	-	Média = 7,33	Média = 8

Fonte: Dados da pesquisa

A partir das médias obtidas em cada quadrante nos quadros 12, 13 e 14, organizamos em forma de tabelas, o padrão 03 do mesmo modo como foi feito nos padrões acima.

No padrão 03, encontram-se, para cada quadrante, as médias para o número de partículas verdes e vermelhas.

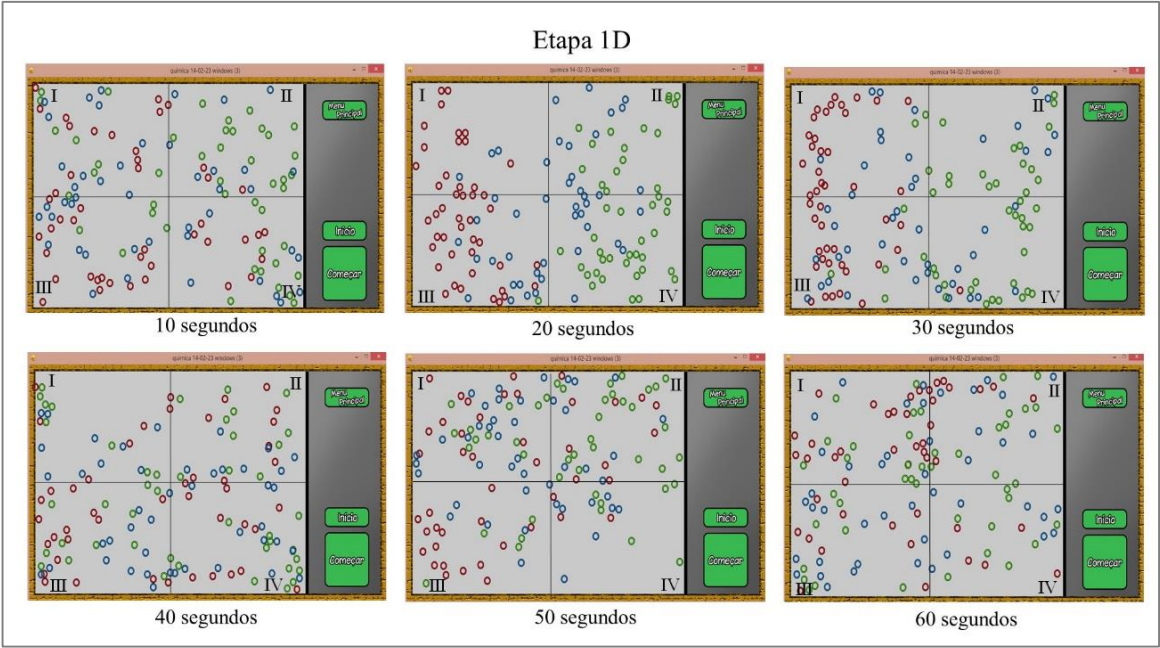
Padrão 03: Etapa 1C: número de partículas nos quadrantes

Quadrantes	Número de partículas vermelhas	Número de partículas verdes
I	12,12	8,72
II	5,74	9,27
III	10,5	7,50
IV	6,44	9,44

Fonte: Dados da pesquisa

Segue a construção do padrão para etapa 1D. Na figura 21, tem-se a faixa de tempo entre 10 e 60 segundos e o número de partículas correspondente a cada quadrante I, II, III e IV.

Figura 21: Etapa 1D: número de partículas nos quadrantes (tempo entre 10 e 60 segundos)



Fonte: Dados da pesquisa

No quadro 15, elucidamos os tempos (segundos) e as médias obtidas nos quadrantes a partir da figura 21.

Quadro 15: Etapa 1D: média do número de partículas obtidas a partir da figura 21

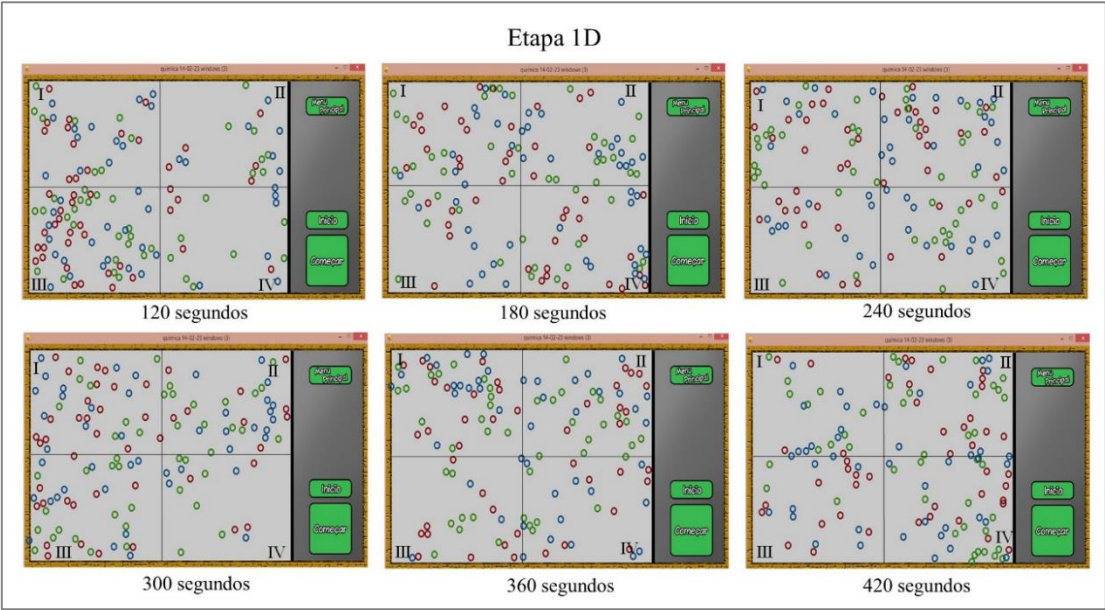
QUADRANTE	TEMPO (Segundos)	NÚMERO DE PARTÍCULAS VERMELHAS	NÚMERO DE PARTÍCULAS VERDES	NÚMERO DE PARTÍCULAS AZUIS
I	10	14	09	12
	20	15	0	04
	30	22	02	11
	40	07	08	10
	50	15	11	20
	60	21	14	10
	-	Média = 15,67	Média = 7,33	Média = 11,17
II	10	03	18	10
	20	0	16	12
	30	0	16	07
	40	09	11	10
	50	10	22	10
	60	09	11	09
	-	Média = 5,17	Média = 15,67	Média 9,67
III	10	19	05	13
	20	30	01	17
	30	21	05	17
	40	17	12	14
	50	17	05	07
	60	10	09	16
	-	Média = 19	Média = 6,17	Média = 14
IV	10	10	12	10
	20	0	28	12
	30	01	21	09
	40	12	12	13
	50	03	07	08
	60	05	09	09
	-			

	-	Média = 5,17	Média = 14,83	Média = 10,17

Fonte: Dados da pesquisa

Na figura 22, tem-se a faixa de tempo entre 120 e 420 segundos e o número de partículas correspondente a cada quadrante I, II, III e IV da etapa 1D.

Figura 22: Etapa 1D: número de partículas nos quadrantes (tempo entre 120 e 420 segundos)



Fonte: Dados da pesquisa

No quadro 16, elucidamos os tempos (segundos) e as médias obtidas nos quadrantes a partir da figura 22.

Quadro 16: Etapa 1D: média do número de partículas obtidas a partir da figura 22

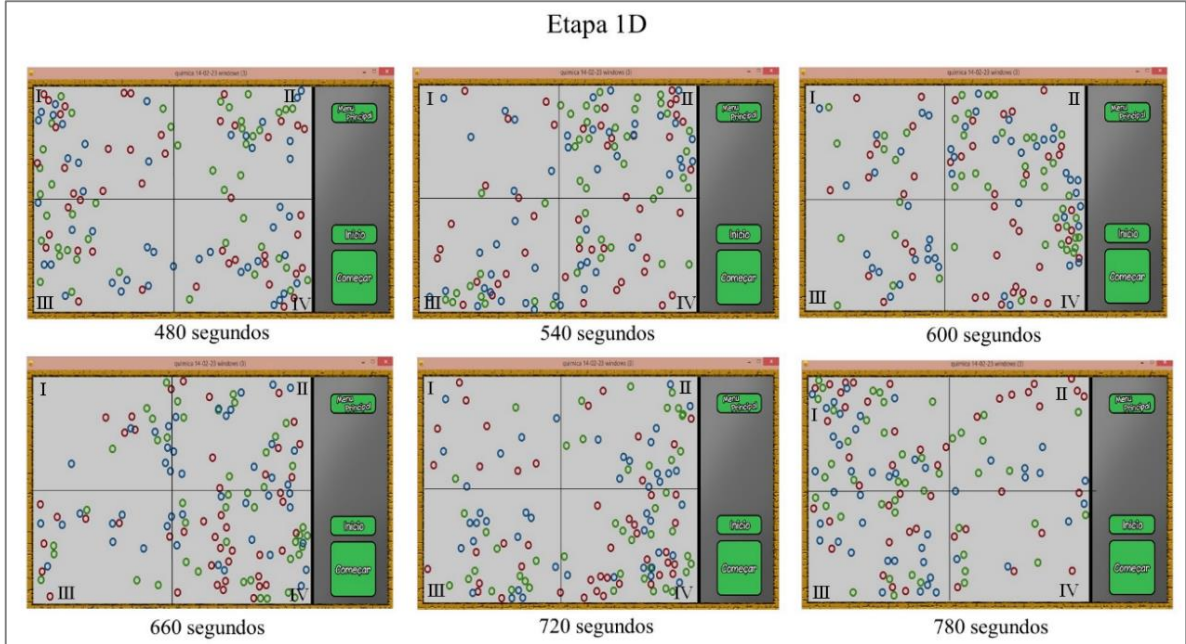
QUADRANTE	TEMPO (Segundos)	NÚMERO DE PARTÍCULAS VERMELHAS	NÚMERO DE PARTÍCULAS VERDES	NÚMERO DE PARTÍCULAS AZUIS
I	120	12	08	13
	180	16	15	10
	240	13	17	07
	300	19	08	13
	360	15	15	15
	420	04	10	12
	-	Média = 13,16	Média = 12,16	Média = 11,66
II	120	05	07	07
	180	06	13	15
	240	16	11	16
	300	09	14	14
	360	10	15	13
	420	16	15	10
	-	Média = 10,33	Média = 12,5	Média = 12,5
III	120	23	22	19
	180	06	07	09
	240	11	04	11
	300	13	16	13

IV	360	11	08	04
	420	13	03	08
		Média = 12,83	Média = 10	Média = 10,66
	120	05	08	06
	180	17	10	11
	240	05	13	11
	300	04	07	05
	360	08	07	13
	420	12	17	15
	-	Média = 8,5	Média = 10,33	Média = 10,16

Fonte: Dados da pesquisa

Na figura 23, tem-se a faixa de tempo entre 480 e 780 segundos e o número de partículas correspondente a cada quadrante I, II, III e IV da etapa 1D.

Figura 23: Etapa 1D: número de partículas nos quadrantes (tempo entre 480 e 780 segundos)



Fonte: Dados da pesquisa

No quadro 17, elucidamos os tempos (segundos) e as médias obtidas nos quadrantes a partir da figura 23.

Quadro 17: Etapa 1D: média do número de partículas obtidas a partir da figura 23

QUADRANTE	TEMPO (Segundos)	NÚMERO DE PARTÍCULAS VERMELHAS	NÚMERO DE PARTÍCULAS VERDES	NÚMERO DE PARTÍCULAS AZUIS
I	480	16	09	11
	540	06	01	06
	600	09	06	07
	660	05	06	07
	720	08	02	06
	780	16	19	17
	-	Média = 10	Média = 7,16	Média = 9

II	480	08	14	08
	540	13	26	18
	600	13	20	17
	660	10	11	14
	720	06	13	13
	780	09	07	06
	-	Média = 9,83	Média = 15,16	Média = 12,66
III	480	08	12	13
	540	10	10	14
	600	05	06	12
	660	08	06	10
	720	09	12	14
	780	12	11	17
	-	Média = 8,66	Média = 9,5	Média = 13,33
IV	480	13	09	13
	540	15	08	07
	600	18	13	07
	660	22	22	14
	720	22	18	12
	780	08	07	05
	-	Média = 16,33	Média = 12,83	Média = 9,66

Fonte: Dados da pesquisa

A partir das médias obtidas em cada quadrante nos quadros 15, 16 e 17, organizamos, em forma de tabela, o padrão 04 do mesmo modo como foi feito nos padrões acima.

No padrão 04, encontram-se, para cada quadrante, as médias para o número de partículas verdes e vermelhas.

Padrão 04: Etapa 1D: número de partículas nos quadrantes

Quadrantes	Número de partículas vermelhas	Número de partículas verdes	Número de partículas azuis
I	12,94	8,88	10,61
II	8,44	14,44	11,61
III	13,49	8,55	12,66
IV	10	12,66	9,99

Fonte: Dados da pesquisa

Com os padrões estabelecidos acima, buscamos encontrar nos desenhos construídos pelos (as) participantes, uma distribuição homogênea dos números de partículas obtidos nos quadrantes I, II, III e IV, conforme cada etapa e padrão.

A seguir, apresentaremos o tratamento dos dados referentes à categoria: conceito de irreversibilidade, os quais foram obtidos nas entrevistas semiestruturadas, com a utilização das etapas construídas de um jogo digital.

5.9.3 Categoria: conceito de irreversibilidade (Etapas do jogo digital)

Neste item, apresentamos as subcategorias que emergiram de palavras utilizadas nos discursos dos participantes (unidades de registro) a partir da categoria: conceito de irreversibilidade. A questão que culminou em subcategorias foi a de número 5 (Apêndice 05): *O sistema pode voltar como era no início, antes de apertamos o botão começar? Alguma parte do sistema pode voltar como era antes? Por que não volta?* Algumas perguntas realizadas nas entrevistas não culminaram em subcategorias, por isso as discutimos sumariamente no texto.

Como descrito acima, as subcategorias emergidas nas unidades de registro foram: *discurso de gênero científico*, *discurso próximo do gênero científico*, *discurso de senso comum* e *discurso não elucidativo*. A seguir, elucidamos cada subcategoria.

De acordo com o referencial teórico sobre a TCG, a subcategoria *discurso de gênero científico* emergiu da palavra “probabilidade” utilizada nas respostas de um participante para explicar e descrever o conceito de irreversibilidade proposto na simulação do comportamento aleatório das partículas nas etapas construídas para o jogo digital.

A subcategoria *discurso próximo do gênero científico* emergiu das respostas de quatro participantes que utilizaram palavras que se aproximam do conceito científico ao explicar e descrever o conceito de irreversibilidade, por exemplo: “o aumento da quantidade e da presença de partículas no sistema das etapas 1A e 1B”.

A subcategoria *discurso de senso comum* emergiu das respostas de cinco participantes que utilizaram palavras de senso comum para explicar e descrever o conceito de irreversibilidade, as quais podem ser proferidas em situações do dia a dia ou também para explicar outros saberes, como: “eu acho que não, acho que sim, muito raro, dificilmente, misturado, dispersas, comprimir, espalhadas, separar, ordenado”.

A subcategoria *discurso não elucidativo* emergiu das respostas da maioria dos (as) participantes (dez) que utilizaram palavras diretas (não, não sei, entre outras) que não elucidam, explicam ou reportam ao conceito de irreversibilidade.

Elucidadas as subcategorias, organizamos no corpo do trabalho o quadro 18 contendo a *categoria, as subcategorias e os números de unidades de registro* dos grupos 01 e 02 referentes à aplicação das etapas construídas 1A, 1B, 1C e 1D.

No quadro 18, os números de unidades de registro começam com o grupo 01 e seguem verticalmente com o grupo 02, cada qual com suas subcategorias.

Quadro 18: Conceito de irreversibilidade: categoria, subcategorias e número de unidades de registro (etapas)

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	NÚMERO DE UNIDADES DE REGISTRO - GRUPO 01			
		Etapa 1A	Etapa 1B	Etapa 1C	Etapa 1D
CONCEITO DE IRREVERSIBILIDADE	Discurso próximo do gênero científico	01	01	03	03
	Discurso de senso comum	02	02	01	02
	Discurso não elucidativo	04	04	03	02
CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	NÚMERO DE UNIDADES DE REGISTRO - GRUPO 02			
		Etapa 1A	Etapa 1B	Etapa 1C	Etapa 1D
CONCEITO DE IRREVERSIBILIDADE	Discurso de gênero científico	01	01	01	01
	Discurso de senso comum	--	01	01	01
	Discurso não elucidativo	05	04	04	04

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 18, verificamos que algumas unidades de registro não culminaram em algumas subcategorias. Por exemplo, no grupo 01, não houve unidades de registro para a subcategoria: discurso de gênero científico. No grupo 02, não houve unidades de registro para a subcategoria: discurso próximo do gênero científico.

Para analisar e discutir os resultados, organizamos as unidades de registro qualitativamente para cada participante da pesquisa. Portanto, conforme a unidade de registro, ou seja, a fala do (a) participante, a subcategoria pode variar do plano horizontal para o vertical.

Seguem, no quadro 19, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro obtidas nas entrevistas semiestruturadas com os participantes do grupo 01 e 02 na aplicação das etapas construídas do jogo digital.

Quadro 19: Conceito de irreversibilidade: categoria, subcategorias e unidades de registro (etapas)

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO GRUPO 01 e 02			
		Etapa 1A	Etapa 1B	Etapa 1C	Etapa 1D
CONCEITO DE IRREVERSIBILIDADE	Discurso de gênero científico	L11G ₂	L11G ₂	L11G ₂	L11G ₂
	Discurso próximo do gênero científico	L3G ₁	L4G ₁	L4G ₁ L6G ₁ L7G ₁	L4G ₁ L6G ₁ L7G ₁
	Discurso de senso comum	L6G ₁ L7G ₁	L6G ₁ L7G ₁ L9G ₂	L3G ₁ L13G ₂	L2G ₁ L3G ₁ L13G ₂
	Discurso não elucidativo	L1G ₁ L2G ₁ L4G ₁ L5G ₁ L8G ₂ L9G ₂ L10G ₂ L12G ₂ L13G ₂	L1G ₁ L2G ₁ L3G ₁ L5G ₁ L8G ₂ L10G ₂ L12G ₂ L13G ₂	L1G ₁ L2G ₁ L5G ₁ L8G ₂ L9G ₂ L10G ₂ L12G ₂	L1G ₁ L5G ₁ L8G ₂ L9G ₂ L10G ₂ L12G ₂

Fonte: Dados da pesquisa

Na sequência, apresentamos o tratamento dos resultados no que diz respeito ao conceito de aleatoriedade obtido nas entrevistas semiestruturadas com os grupos 01, 02 e 03 na aplicação das etapas e níveis do jogo digital.

5.9.4 Categoria: conceito de aleatoriedade (etapas e níveis do jogo digital)

A partir da categoria: conceito de aleatoriedade, emergiram as subcategorias diante de palavras utilizadas nos discursos dos participantes que se referem às unidades de registro. A questão a qual culminou em subcategorias foi a de número 2 (Apêndice 05 e 07): *Quais foram as razões que o (a) levaram a desenhar essas trajetórias?* Algumas perguntas realizadas nas entrevistas não culminaram em subcategorias, por isso as discutimos sumariamente no texto.

As subcategorias emergidas nas unidades de registro foram: *discurso de gênero científico, discurso próximo do gênero científico, discurso de senso comum e discurso não elucidativo*. A seguir, elucidamos cada subcategoria.

De acordo com o referencial teórico da TCG, verificamos, em muitas respostas dos (as) participantes da pesquisa, o emprego de palavras que descrevem corretamente o conceito de aleatoriedade, como: “movimento aleatório, movimento retilíneo e movimento desordenado,

aleatório, choque elástico, colisão elástica, desordem, desordenado”. Por isso, denominados de subcategoria *discurso de gênero científico*, com relação à categoria investigada.

A subcategoria *discurso próximo do gênero científico* emergiu de palavras utilizadas nas respostas de alguns participantes da pesquisa ao explicar e descrever o conceito de aleatoriedade como, por exemplo: “meio aleatório, sem ordem e distribuição homogênea das partículas”.

A subcategoria *discurso de senso comum* emergiu de palavras utilizadas nas respostas de alguns participantes da pesquisa para explicar o conceito de aleatoriedade segundo a teoria cinética dos gases. Ou seja, palavras que podem ser utilizadas em situações do dia a dia como, por exemplo: “espalhar, misturar, bagunça, colisões, colidir, dispersar, batendo”. É importante esclarecer que, nos níveis do jogo, consideramos também as palavras: “deslocar, pegar, bater, acertar”, porque se referem às trajetórias da partícula vermelha indo em direção da partícula azul para colidir.

De acordo com o referencial teórico da TCG, verificamos, em muitas respostas dos (as) participantes da pesquisa, *discursos não elucidativos*, ou seja, a utilização de palavras que dizem respeito às regras do jogo, portanto não dizem respeito ao conceito de aleatoriedade.

Explicitadas as subcategorias, primeiramente organizamos, no corpo do trabalho, dois quadros quantitativos para apresentar a categoria, as subcategorias e o número de unidades de registro. No quadro 20, estão as unidades de registro dos grupos 01 e 02 referentes as etapas construídas 1A, 1B, 1C e 1D. E, no quadro 21, as unidades de registro dos grupos 01,02 e 03 referentes aos níveis 1, 2, 3 4 e 5 do jogo digital.

Os números de unidades de registro no quadro 20 começa com o grupo 01 e segue verticalmente com o grupo 02, cada qual com as suas subcategorias. Esse procedimento também foi organizado para o quadro 21.

No quadro 20, apresentamos, na primeira coluna, a categoria que identifica o conceito investigado; na segunda coluna, as subcategorias e, na terceira coluna, o número de unidades de registro dos grupos 01 e 02.

Quadro 20: Conceito de aleatoriedade: categoria, subcategorias e número de unidades de registro (etapas)

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	NÚMERO DE UNIDADES DE REGISTRO - GRUPO 01			
		Etapa 1A	Etapa 1B	Etapa 1C	Etapa 1D
CONCEITO DE ALEATORIEDADE	Discurso de gênero científico	02	05	01	02
	Discurso próximo do gênero científico	04	01	01	01
	Discurso de senso comum	01	01	05	04
CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	NÚMERO DE UNIDADES DE REGISTRO - GRUPO 02			
		Etapa 1A	Etapa 1B	Etapa 1C	Etapa 1D
CONCEITO DE ALEATORIEDADE	Discurso de gênero científico	--	--	--	02
	Discurso próximo do gênero científico	02	02	01	01
	Discurso de senso comum	04	04	05	03

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 20, verificamos que algumas unidades de registro não culminaram em algumas subcategorias. Por exemplo, no grupo 01, na etapa 1D, não encontramos a subcategoria “discurso de gênero científico”. Mas, nas outras etapas, sim. No grupo 02, nas etapas 1B e 1C também não encontramos esta subcategoria: “discurso de gênero científico”.

No quadro 21, apresentamos, na primeira coluna, a categoria que identifica o conceito investigado; na segunda coluna, as subcategorias emergidas das falas dos (as) participantes durante as entrevistas semiestruturadas realizadas com a aplicação dos níveis 1, 2, 3, 4 e 5 do jogo digital, e, na terceira coluna, o número de unidades de registro dos grupos 01, 02 e 03.

Quadro 21: Conceito de aleatoriedade: categoria, subcategorias e número de unidades de registro (jogo digital)

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	NÚMERO DE UNIDADES DE REGISTRO - GRUPO 01				
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE	Discurso de gênero científico	01	01	02	02	--
	Discurso próximo do gênero científico	--	--	02	01	--
	Discurso de senso comum	06	06	03	04	03
CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	NÚMERO DE UNIDADES DE REGISTRO - GRUPO 02				
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE	Discurso de gênero científico	01	01	--	--	02
	Discurso próximo do gênero científico	--	--	02	02	01
	Discurso de senso comum	04	04	04	04	01
	Discurso não elucidativo	--	--	--	--	01
CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	NÚMERO DE UNIDADES DE REGISTRO - GRUPO 03				
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE	Discurso de gênero científico	--	--	01	01	01
	Discurso próximo do gênero científico	01	01	01	--	--
	Discurso de senso comum	04	05	04	07	--
	Discurso não elucidativo	03	02	02	--	--

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 21, também verificamos que algumas unidades de registro não culminaram em algumas subcategorias. Por exemplo, no grupo 01, verificamos uma (01) unidade de registro apenas no nível 2, na subcategoria “discurso próximo do gênero científico”.

No grupo 02, verificamos apenas no nível 3 uma (01) unidade de registro na subcategoria “discurso próximo do gênero científico”. No grupo 03, não verificamos unidade de registro na subcategoria “discurso próximo do gênero científico”.

Para analisar e discutir os resultados, organizamos as unidades de registro qualitativamente para cada participante da pesquisa, seguindo a ordem das etapas e dos níveis

do jogo digital. Para isso, separamos e estruturamos consecutivamente, nos quadros 22, 23 e 24, as unidades de registro conforme as subcategorias emergidas.

Nas análises e discussões, conforme a unidade de registro, ou seja, a fala do (a) participante, a subcategoria pode variar do plano horizontal para o vertical.

Seguem, no quadro 22, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro. Neste quadro, na terceira coluna, é importante entender o seguinte: a segunda linha diz respeito às unidades de registro das etapas (1A, 1B, 1C, 1D), a segunda linha diz respeito às unidades de registro dos níveis (1, 2, 3, 4 e 5) do jogo digital. Portanto, ao apresentarmos as unidades de registro, por exemplo, L4G₁, na subcategoria “discurso de gênero científico”, a primeira linha é referente às etapas, a segunda linha é referente aos níveis.

Quadro 22: Grupo 01- categoria, subcategorias e unidades de registro (etapas e níveis do jogo digital)

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO – GRUPO 01				
		Etapa 1ª	Etapa 1B	Etapa 1C	Etapa 1D	--
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE	Discurso de gênero científico	L4G ₁ L6G ₁	L1G ₁ L2G ₁ L3G ₁ L4G ₁ L6G ₁	L4G ₁	L3G ₁ L4G ₁	--
		L7G ₁	L7G ₁	L3G ₁ L4G ₁	L3G ₁ L6G ₁	--
	Discurso próximo do gênero científico	L1G ₁ L2G ₁ L3G ₁ L7G ₁	L7G ₁	L2G ₁	L7G ₁	--
		--	--	L1G ₁ L6G ₁	L1G ₁	--
	Discurso de senso comum	L5G ₁	L5G ₁	L1G ₁ L3G ₁ L5G ₁ L6G ₁ L7G ₁	L1G ₁ L2G ₁ L5G ₁ L6G ₁	--
		L1G ₁ L2G ₁ L3G ₁ L4G ₁ L5G ₁ L6G ₁	L1G ₁ L2G ₁ L3G ₁ L4G ₁ L5G ₁ L6G ₁	L2G ₁ L5G ₁ L7G ₁	L2G ₁ L4G ₁ L5G ₁ L7G ₁	L4G ₁ L6G ₁ L7G ₁

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 22, boa parte (cinco) dos (as) participantes do grupo 01 apresentou a subcategoria *discurso de gênero científico* em algum contexto de aplicação das etapas. Por exemplo, L1G₁ e L2G₁, na etapa 1B; L3G₁, nas etapas 1B e 1D; L4G₁, nas quatro etapas; L6G₁,

nas etapas 1A e 1B. Vale ressaltar que na subcategoria *discurso próximo do gênero científico*, L7G₁ mais L1G₁, L2G₁, L3G₁ (quatro) utilizaram palavras que se aproximam do conceito de aleatoriedade.

Na aplicação dos níveis do jogo digital, os resultados foram um pouco diferentes, porque quatro participantes (L3G₁, L4G₁, L6G₁, L7G₁) se enquadraram na subcategoria *discurso de gênero científico*. Desse modo, L1G₁ e L2G₁ utilizaram palavras próximas do científico para explicar a aleatoriedade do sistema, durante a aplicação dos níveis do jogo.

Seguem, no quadro 23, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro obtidos nas entrevistas semiestruturadas com os (a) participantes do grupo 02 na aplicação das etapas construídas e nos níveis do jogo digital. A cor azul, na coluna das unidades de registro se refere às etapas construídas do jogo digital e a cor laranja clara se refere aos níveis do jogo.

Quadro 23: Grupo 02 - categoria, subcategorias e unidades de unidades (etapas e níveis do jogo digital)

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO – GRUPO 02				
		Etapa 1A	Etapa 1B	Etapa 1C	Etapa 1D	--
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE	Discurso de gênero científico	--	--	--	L12G ₂ L13G ₂	--
		L13G ₂	L13G ₂	--	--	L9G ₂ L10G ₂
	Discurso próximo do gênero científico	L9G ₂ L13G ₂	L9G ₂ L13G ₂	L9G ₂	L9G ₂	--
		--	--	L12G ₂ L13G ₂	L12G ₂ L13G ₂	L13G ₂
	Discurso de senso comum	L8G ₂ L11G ₂ L12G ₂	L8G ₂ L11G ₂ L12G ₂	L8G ₂ L10G ₂ L12G ₂	L8G ₂ L11G ₂	--
		L8G ₂ L9G ₂ L10G ₂ L11G ₂ L12G ₂	L8G ₂ L9G ₂ L10G ₂ L11G ₂ L12G ₂	L8G ₂ L9G ₂ L10G ₂ L11G ₂	L8G ₂ L9G ₂ L10G ₂ L11G ₂	L8G ₂
	Discurso não elucidativo	L10G ₂	L10G ₂	L10G ₂ L13G ₂	L10G ₂	--
		--	--	--	--	L12G ₂

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 23, apenas dois participantes do grupo 02, apresentaram a subcategoria *discurso de gênero científico*: L12G₂ e L13G₂ na etapa 1D. Neste grupo, L9G₂ e L13G₂ utilizaram palavras que se aproximam do gênero científico.

Conforme os dados do quadro 23, verificamos que a aplicação dos níveis do jogo digital favoreceu outros participantes do grupo 02 a utilizarem palavras científicas para explicar o conceito de aleatoriedade: L9G₂ e L10G₂.

Seguem, no quadro 24, a categoria, as subcategorias e os números de unidades de registro referentes às falas obtidas nas entrevistas semiestruturadas com os (as) participantes do grupo 03, na aplicação dos níveis do jogo digital. Neste quadro 24, consta somente a cor laranja clara, porque este grupo participou somente dos níveis do jogo, conforme descrito na metodologia.

Quadro 24: Grupo 03 - categoria, subcategorias e unidades de registro (níveis do jogo digital)

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO – GRUPO 03				
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE	Discurso de gênero científico	--	--	L16G ₃	L16G ₃	L14G ₃
	Discurso próximo do gênero científico	L14G ₃	L14G ₃	L14G ₃	--	--
	Discurso de senso comum	L15G ₃ L17G ₃ L18G ₃ L19G ₃ L21G ₃	L17G ₃ L18G ₃ L19G ₃ L20G ₃ L21G ₃	L15G ₃ L17G ₃ L18G ₃ L19G ₃	L14G ₃ L15G ₃ L17G ₃ L18G ₃ L19G ₃ L20G ₃ L21G ₃	--
	Discurso não elucidativo	L16G ₃ L19G ₃ L20G ₃	L15G ₃ L16G ₃	L20G ₃ L21G ₃	--	--

Fonte: Dados da pesquisa

Verificamos no quadro 24 que apenas L14G₃ e L16G₃ apresentaram a subcategoria *discurso de gênero científico* para explicar o conceito de aleatoriedade. A participante L14G₃ se manteve nos níveis 1, 2 e 3 na subcategoria *discurso próximo do gênero científico*.

A seguir, trazemos a categoria, conceito de irreversibilidade com suas respectivas subcategorias emergidas nas falas durante a aplicação das etapas do jogo digital e o número de unidades de registro.

5.9.5 Conceito de aleatoriedade: imprevisibilidade de trajetórias de partículas (níveis do jogo digital)

A questão que culminou em análise dos desenhos foi a de número 1 (Apêndice 07): *De acordo com a tela do computador, faça um desenho/previsão das trajetórias entre as partículas para obter os cinco pontos e passar de nível.* Para analisar os dados obtidos por meio dessa pergunta, construímos um padrão de análise.

A pergunta de número 5 e 6, Apêndice 07 (*Vamos ver como foi a sua previsão/desenho das trajetórias com relação às trajetórias ocorridas durante o nível do jogo. Foi como você imaginava?*), culminou em categorias descritas logo após a construção do padrão de análise para os desenhos.

De acordo com a fundamentação teórica da cinética dos gases, “[...]. As moléculas têm trajetórias retilíneas e colidem entre si e com as paredes do recipiente em que estão. [...] O movimento molecular dentro do recipiente que contém a amostra é completamente aleatório, e todas as direções da velocidade são igualmente prováveis (MAIA; BIANCHI, 2007, p. 160). Portanto, as trajetórias das partículas são imprevisíveis.

No jogo digital, podemos prever em cada nível, as primeiras colisões do lado esquerdo, porque as partículas azuis ficam organizadas deste lado. Portanto, como o jogador atua com a partícula vermelha no jogo, pode movê-la e obter uma probabilidade maior de efetuar colisões no início do jogo sem a interferências das partículas laranjas, dispostas do lado direito do jogo.

Sendo assim, buscamos analisar nos desenhos esse aspecto previsível de trajetórias de partículas. Ou seja, as primeiras colisões do lado esquerdo, principalmente nos níveis 1 e 2, porque a movimentação das partículas laranjas ainda não dificultam a colisão da partícula vermelha com a laranja, ocorrendo o “game over”. Em seguida, analisamos como os (as) participantes ilustram as trajetórias das demais partículas em cada nível, verificando se as distribuem de maneira homogênea.

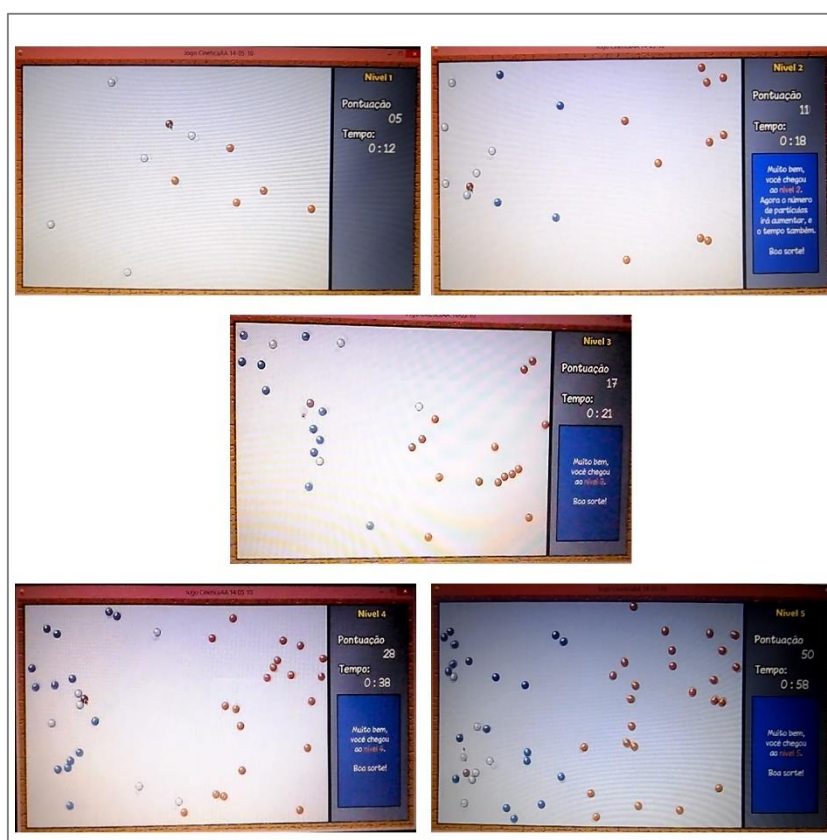
Com base nesse contexto, nas regras contidas nos níveis do jogo digital, principalmente o aumento do número de partículas a cada nível, e, também, considerando uma boa coordenação motora do (a) jogador (a), elaboramos um padrão de análise para os desenhos construídos pelos (as) participantes nos desenhos (nível 1, 2, e, 4 e 5) do jogo digital.

O padrão foi construído da seguinte maneira: primeiro, elencamos como parâmetro obter o número de colisões no início, a chegada da partícula laranja até o meio da tela do jogo. Em seguida, a pesquisadora jogou três vezes cada nível do jogo digital. A cada rodada do jogo, a partícula vermelha foi movida para o lado esquerdo para efetuarmos o máximo de colisões

com as azuis. Para isso, todo jogo foi filmado para obtermos os números de colisões nas figuras. Então, quando as partículas laranjas chegaram ao meio da tela do jogo, obtivemos o primeiro valor do número de colisões da vermelha com a azul.

Na figura 24, apresentamos um dos momentos nos quais a pesquisadora jogou cada nível. Decidimos apresentar somente essas figuras porque elas representam que as primeiras colisões ocorreram sempre do lado esquerdo até a aproximação da partícula laranja ao meio da tela do jogo. E, como as trajetórias são imprevisíveis, não levaremos em consideração nas análises dos desenhos, as posições das demais partículas.

Figura 24: Colisões da partícula vermelha e azul



Fonte: Dados da pesquisa

É importante relembrar que, quando a partícula de cor vermelha colide com a partícula de cor azul, esta muda para a cor branca, indicando a pontuação do jogador (FIG. 24).

De acordo com a figura 24, temos os seguintes números de colisões nos níveis: no nível 1, 5; no nível 2, 6; no nível 3, 4; no nível 4, 6; no nível 5, 7.

Diante do exposto, decidimos elaborar um padrão em que o participante, sem muito conhecimento do jogo pudesse realizar as primeiras colisões do lado esquerdo. Sendo assim,

elaboramos o padrão 05, também com um padrão de número de partículas colididas do lado esquerdo, para analisar os desenhos construídos nos níveis 1, 2, 3, 4 e 5 do jogo digital.

Padrão 05: Número de colisões efetuados nos níveis do jogo digital

Níveis do jogo digital	Número de primeiras colisões ilustrados no lado esquerdo do desenho
Nível 1	03
Nível 2	03
Nível 3	03
Nível 4	03
Nível 5	03

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o padrão 05, buscamos encontrar as três primeiras colisões ilustradas do lado esquerdo dos desenhos, de acordo com os níveis. E, nos discursos, almejamos encontrar o emprego de palavras que elucidassem a imprevisibilidade de trajetórias.

As subcategorias emergidas nas unidades de registro foram: *discurso de gênero científico*, *discurso próximo do gênero científico*, *discurso de senso comum* e *discurso elucidativo ao jogo*. A seguir, elucidamos cada subcategoria.

De acordo com o referencial teórico da TCG, a subcategoria *discurso de gênero científico* emergiu das respostas dos (as) participantes ao identificarmos a utilização de palavras, como: “imprevisíveis, são imprevisíveis devido ao movimento aleatório, é aleatório não tem como prever, não tem como prever as trajetórias” - o que elucidam o conceito de aleatoriedade: imprevisibilidade de trajetórias de partícula nos níveis do jogo.

A subcategoria *discurso próximo do gênero científico* emergiu das respostas dos (as) participantes ao identificarmos a utilização de palavras próximas do científico para explicar e descrever a imprevisibilidade de trajetórias de partículas, como: “não tem como saber ao certo prever, ninguém saber ao certo prever, você nunca vai saber ao certo aonde vai, batem sem ordem, é meio relativo falar onde vai, não tem previsão, por causa da movimentação que é incerta, não tem uma ordem específica de movimento, não tem como prever”.

A subcategoria *discurso de senso comum* emergiu das respostas dos (as) participantes ao identificarmos a utilização de palavras de senso comum para explicar e descrever o conceito de aleatoriedade, ou seja, aquelas que podem ser proferidas em situações do dia a dia ou também para explicar outros saberes, por exemplo: “misturado, dispersas, comprimir, espalhadas, separar, ordenado, bagunçado”.

A subcategoria *discurso elucidativo ao jogo* emergiu das respostas dos (as) participantes ao identificarmos explicações relacionadas ao jogo, por exemplo: “focado para a esquerda,

colidir mais para a esquerda, levar a partícula para longe, buscando a partícula” – o que não explica a imprevisibilidade de trajetórias das partículas.

Elucidadas as subcategorias, organizamos no corpo do trabalho o quadro 25, o qual contém a categoria, as subcategorias e os números de unidades de registro dos participantes referentes à aplicação dos níveis 1, 2, 3, 4 e 5 do jogo digital.

Quadro 25: Conceito de aleatoriedade: imprevisibilidade de trajetórias de partículas, categoria, subcategorias e número de unidades de registro (níveis)

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO				
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE: imprevisibilidade de trajetórias de partículas	Discurso de gênero científico	01	02	01	02	--
	Discurso próximo do gênero científico	04	05	05	--	03
	Discurso de senso comum	04	06	08	02	--
	Discurso elucidativo ao jogo	12	08	07	17	08

Fonte: Dados da pesquisa

No quadro 25, apresentamos, na primeira coluna, a categoria que identifica o conceito investigado; na segunda coluna, as subcategorias emergidas das falas dos (as) participantes nas entrevistas semiestruturadas realizadas com a aplicação dos níveis 1, 2, 3, 4 e 5 do jogo digital, e, na terceira coluna, o número de unidades de registro dos grupos 01, 02 e 03.

Conforme o quadro 25, verificamos que algumas unidades de registro não foram encontradas, como no nível 5, a subcategoria discurso de gênero científico, no nível 4, a subcategoria discurso próximo do gênero científico e, no nível 5, a subcategoria discurso de senso comum.

Para analisar e discutir os resultados, organizamos as unidades de registro qualitativamente para cada participante da pesquisa. Portanto, conforme a unidade de registro, ou seja, a fala do (a) participante, a subcategoria pode variar do plano horizontal para o vertical.

Seguem, no quadro 26, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro obtidos nas entrevistas semiestruturadas com os (a) participantes na aplicação dos níveis do jogo digital.

Quadro 26: Conceito de aleatoriedade: imprevisibilidade de trajetórias de partículas, categoria, subcategorias e unidades de registro (níveis)

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO				
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE: imprevisibilidade de trajetórias de partículas	Discurso de gênero científico	L16G ₃	L6G ₁ L16G ₃	L1G ₁	L1G ₁ L3G ₁	--
	Discurso próximo do gênero científico	L5G ₁ L6G ₁ L14G ₃ L18G ₃	L1G ₁ L11G ₂ L14G ₃ L18G ₃ L21G ₃	L6G ₁ L11G ₂ L15G ₃ L18G ₃ L21G ₃	--	L7G ₁ L12G ₂ L14G ₃
	Discurso de senso comum	L2G ₁ L3G ₁ L4G ₁ L8G ₂	L2G ₁ L3G ₁ L5G ₁ L8G ₂ L12G ₂ L17G ₃	L2G ₁ L3G ₁ L4G ₁ L8G ₂ L13G ₂ L17G ₃ L19G ₃ L20G ₃	L2G ₁ L8G ₂	--
	Discurso elucidativo ao jogo	L1G ₁ L7G ₁ L9G ₂ L10G ₂ L11G ₂ L12G ₂ L13G ₂ L15G ₃ L17G ₃ L19G ₃ L20G ₃ L21G ₃	L4G ₁ L7G ₁ L9G ₂ L10G ₂ L13G ₂ L15G ₃ L19G ₃ L20G ₃	L5G ₁ L7G ₁ L9G ₂ L10G ₂ L12G ₂ L14G ₃ L16G ₃	L4G ₁ L5G ₁ L6G ₁ L7G ₁ L9G ₂ L10G ₂ L11G ₂ L12G ₂ L13G ₂ L14G ₃ L15G ₃ L16G ₃ L17G ₃ L18G ₃ L19G ₃ L20G ₃ L21G ₃	L4G ₁ L6G ₁ L8G ₂ L9G ₂ L10G ₂ L11G ₂ L13G ₂ L15G ₃

Fonte: Dados da pesquisa

No grupo 03, ao compararmos o quadro 24 com o quadro 26, verificamos que três participantes se mantiveram com discursos de senso comum em algum dos níveis do jogo: L17G₃, L19G₃ e L20G₃.

Observamos também que L15G₃, L18G₃ e L21G₃ evoluíram suas concepções ao considerarmos as subcategorias do quadro 24 com o 26. Dentre estes, L15G₃ se manteve na subcategoria discurso de senso comum nos níveis 1, 3 e 4 (quadro 24). Mas, no nível 3, quadro 26, ao explicar a imprevisibilidade de trajetórias de partículas utilizou palavras que se aproximam do conceito científico.

L18G₃ também se manteve na subcategoria discurso de senso comum nos quatro níveis, no quadro 24. No entanto, ao explicar a imprevisibilidade de trajetórias de partículas utilizou palavras próximas do conceito científico nos níveis 1, 2 e 3, no quadro 26.

L11G₃ também se manteve na subcategoria discurso de senso comum nos níveis 1, 2 e 4, no quadro 24. No entanto, ao explicar a imprevisibilidade de trajetórias de partículas utilizou palavras próximas do conceito científico nos níveis 2 e 3, no quadro 26.

Tendo em vista o tratamento dos dados, apresentamos no próximo capítulo a análise e discussão dos resultados obtidos por intermédio dos instrumentos utilizados na coleta de dados.

6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo, apresentamos a análise dos resultados obtidos por intermédio dos instrumentos utilizados durante a coleta de dados.

A análise está organizada em cinco momentos. No primeiro, trazemos algumas informações adquiridas no questionário - participante da pesquisa (Apêndice 04), como dados pessoais, acadêmicos e saberes a respeito da Teoria Cinética dos Gases de cada participante correspondente aos grupos 01, 02 e 03. Esses dados não culminaram em elaboração de categorias porque se trata de perguntas diretas.

No segundo momento, analisamos e discutimos em conjunto os desenhos e o conteúdo referente à categoria, conceito de aleatoriedade, obtido nas respostas dos grupos 01 e 02, na aplicação das etapas 1A, 1B, 1C, 1D do jogo digital. As análises dos desenhos seguem os padrões 01, 02, 03 e 04.

No terceiro momento, analisamos e discutimos o conteúdo referente à categoria, conceito de irreversibilidade, obtido nas respostas dos grupos 01 e 02, na aplicação das etapas 1A, 1B, 1C, 1D do jogo digital, o qual se constituiu de 04 (quatro) subcategorias, com suas respectivas unidades de registro.

No quarto momento, analisamos e discutimos o conteúdo referente à categoria, conceito de aleatoriedade, obtido nas respostas dos grupos 01, 02 e 03, na aplicação das etapas 1A, 1B, 1C, 1D e dos níveis 1, 2, 3, 4 e 5 do jogo digital, o qual se constituiu de 04 (quatro) subcategorias, com suas respectivas unidades de registro.

No quinto e último momento, analisamos e discutimos o conteúdo referente à categoria, conceito de aleatoriedade: imprevisibilidade de trajetórias de partículas, obtido na aplicação dos níveis 1, 2, 3, 4 e 5 do jogo digital com os grupos 01, 02 e 03. Iniciamos as análises com os desenhos construídos pelos (as) participantes nos níveis do jogo quanto alguns aspectos da imprevisibilidade de trajetórias das partículas, tendo como base o padrão 05. Em seguida, analisamos e discutimos o conteúdo, obtido nas respostas dos grupos, o qual se constituiu de 04 (quatro) subcategorias, com suas respectivas unidades de registro.

6.1 QUESTIONÁRIO - PARTICIPANTE DA PESQUISA

A análise de algumas questões presentes no questionário não culminou em elaboração de categorias porque se trata de perguntas diretas, como: dados pessoais, acadêmicos,

profissionais, período ao qual os sujeitos estudaram o conteúdo da Teoria Cinética dos Gases e quais disciplinas cursaram e estão cursando na licenciatura em química.

No quadro 27, organizamos os participantes conforme o grupo, idade e gênero.

Quadro 27: Participantes da pesquisa, idade, gênero

GRUPO 01	IDADE (anos)	Gênero
L1G ₁	37	Masculino
L2G ₁	20	Feminino
L3G ₁	57	Feminino
L4G ₁	20	Feminino
L5G ₁	48	Feminino
L6G ₁	22	Masculino
L7G ₁	20	Feminino
GRUPO 02	IDADE (anos)	Gênero
L8G ₂	18	Feminino
L9G ₂	23	Masculino
L10G ₂	20	Masculino
L11G ₂	23	Masculino
L12G ₂	23	Masculino
L13G ₂	19	Masculino
GRUPO 03	IDADE (anos)	Gênero
L14G ₃	21	Feminino
L15G ₃	21	Masculino
L16G ₃	23	Feminino
L17G ₃	20	Masculino
L18G ₃	20	Masculino
L19G ₃	19	Feminino
L20G ₃	20	Feminino
L21G ₃	22	Feminino

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 27, verificamos uma faixa etária mais diversificada dos participantes do grupo 01 em relação aos participantes do grupo 01 e 03, pois abrangem pessoas com idades entre 20 e 57 anos. Com relação ao gênero, o feminino é predominante no grupo 01, contendo cinco acadêmicas; no grupo 02, predomina o gênero masculino, com cinco acadêmicos. No grupo 03, predomina o gênero feminino, com cinco acadêmicas.

No grupo 01, somente L6G₁ estudou o ensino fundamental e médio na escola particular; os demais estudaram na escola pública.

No grupo 02, L13G₂ concluiu o ensino fundamental parte em escola pública e parte em particular; o ensino médio concluiu na escola particular. Os demais estudaram o ensino fundamental e médio na escola pública.

No grupo 03, L14G₃ estudou o ensino fundamental e médio em escola particular; L16G₃ parte o ensino fundamental em escola particular e o ensino médio, parte em escola pública e em particular; os demais estudaram em escola pública. Portanto, a maioria dos participantes estudaram em escola pública, tanto no ensino fundamental como no ensino médio.

No quadro 28, apresentamos os momentos que os participantes estudaram os conteúdos da teoria cinética dos gases, o período no curso de Licenciatura em Química, as disciplinas cursadas e quais estão cursando.

Quadro 28: Período de estudo da Teoria Cinética dos Gases

GRUPO 01 Período no curso	Quando você estudou os conteúdos da teoria cinética dos gases? Cite-os.	Disciplinas cursadas/cursando na graduação que podem ter na ementa o conteúdo de gases, Teoria Cinética dos Gases (TCG).
L1G ₁ 4º período	Não estudou o conteúdo.	Cursadas: cálculo diferencial e integral 1 e 2, química geral e física 1. Cursando: física 3.
L2G ₁ 5º período	Físico-química 1: gases ideais e reais. Física 2: gases	Cursadas: cálculo diferencial e integral 1, química geral, física 1 e 2. Cursando: cálculo diferencial e integral 1, físico-química 1, probabilidade e estatística.
L3G ₁ 4º período	Estudou na pesquisa.	Cursadas: cálculo diferencial e integral 1, química geral, física 2. Cursando: física 1.
L4G ₁ 5º período	Química geral e na física 2: gases. Físico-química: gases ideais e reais. Estudou na pesquisa.	Cursadas: cálculo diferencial e integral 1 e 2, química geral, física 1 e 2. Cursando: físico-química 1, probabilidade e estatística.
L5G ₁ 4º período	Estudou pouca “coisa” no ensino médio. Estudou na pesquisa.	Cursada: química geral. Cursando: cálculo diferencial e integral 1, física 1.
L6G ₁ 4º período	Não estudou o conteúdo.	Cursada: química geral. Cursando: cálculo diferencial e integral 2, física 1.
L7G ₁ 5º período	Ensino médio e na disciplina de química geral: gases.	Cursadas: cálculo diferencial e integral 1 e 2, química geral. Cursando: física 1.
GRUPO 02 Período no curso	Quando você estudou os conteúdos da Teoria Cinética dos Gases? Cite-os.	Disciplinas cursadas/cursando na graduação que podem ter na ementa o conteúdo de gases, Teoria Cinética dos Gases (TCG).
L8G ₂ 6º período	Ensino Médio: o princípio da cinética química, a velocidade da reação e, um pouco de gás.	Cursadas: cálculo diferencial e integral 1 e 2, química geral, física 1, 2 e 3, físico-química 1, probabilidade e estatística. Cursando: físico-química 2.
L9G ₂ 6º período	Físico-química 1: velocidade das reações, catalisadores que influenciam nessa velocidade, cinética das soluções.	Cursadas: cálculo diferencial e integral 1 e 2, química geral, física 1, 2 e 3, físico-química 1, probabilidade e estatística. Cursando: físico-química 2.
L10G ₂ 4º período	Não estudou o conteúdo.	Cursada: química geral. Cursando: cálculo diferencial e integral 1 e 2, física 1.
L11G ₂ 5º período	Química geral: gases. Física 2: choques entre os gases por meio de vetores.	Cursadas: cálculo diferencial e integral 1 e 2, química geral, física 2 e 3. Cursando: física 1, probabilidade e estatística.
L12G ₂ 6º período	Físico-química 1: teoria dos gases ideais e reais.	Cursadas: cálculo diferencial e integral 1 e 2, química geral, física 1, 2 e 3, físico-química 1, probabilidade e estatística. Cursando: físico-química 2.
L13G ₂ 2º período	Ensino médio: gases, as transformações decorrentes no sistema, como transformações isobárica, isocórica.	Cursadas: cálculo diferencial e integral 1, química geral. Cursando: cálculo diferencial e integral 2, física 1.
GRUPO 03 Período no curso	Quando você estudou os conteúdos da Teoria Cinética dos Gases? Cite-os.	Disciplinas cursadas/cursando na graduação que podem ter na ementa o conteúdo de gases, Teoria Cinética dos Gases (TCG).
L14G ₃ 5º período	Ensino médio: os choques entre os gases. Físico-química 1: gases.	Cursadas: cálculo diferencial e integral 1 e 2, química geral, física 1, 2 e 3. Cursando: físico-química 1, probabilidade e estatística.
L15G ₃ 3º período	Ensino médio e em química geral: gases $PV = RnT$. Cursinho: gases.	Cursadas: cálculo diferencial e integral 1, química geral. Cursando: física 2, cálculo diferencial e integral 2.

L16G ₃ 5º período	Físico-química 1: gases, processos isotérmicos, isobárico, fração molar.	Cursadas: cálculo diferencial e integral 1 e 2, química geral, física 1, 2 e 3. Cursando: físico-química 1 e probabilidade e estatística.
L17G ₃ 4º período	Não estudou o conteúdo.	Cursadas: química geral, física 2. Cursando: cálculo diferencial e integral 1.
L18G ₃ 4º período	Física 3: máquina de Carnot, os choques entre os gases, as moléculas, citou uma máquina que aumenta a pressão.	Cursadas: cálculo diferencial e integral 1, química geral, física 1. Cursando: física 3, fez, mas reprovou.
L19G ₃ 3º período	Física 2: $PV = RnT$. Cálculo diferencial e integral 2: $PV = RnT$, derivar, variação dos gases.	Cursadas: cálculo diferencial e integral 1, química geral. Cursando: física 2, cálculo diferencial e integral 2.
L20G ₃ 3º período	Não estudou o conteúdo.	Cursada: química geral. Cursando: física 1 e 2.
L21G ₃ 5º período	Não estudou o conteúdo.	Cursada: química geral e Física 1. Cursando: cálculo diferencial e integral 1, probabilidade e estatística.

Fonte: Dados da pesquisa

No grupo 01, conforme o quadro 28, percebemos que a maioria (L1G₁, L2G₁, L3G₁, L4G₁) não estudou o conteúdo de teoria cinética dos gases no ensino médio. Na graduação, verificamos que somente L2G₁ e L4G₁ descreveram ter estudado os assuntos de gases, gases ideais e reais. L7G₁ escreveu que estudou na disciplina de química geral, mas não descreveu quais foram os conteúdos. L3G₁, L4G₁ e L5G₁ citaram que estudaram os conteúdos da teoria cinética dos gases somente na pesquisa, mas também não escreveram quais foram os assuntos.

Percebemos ainda que, apesar de os acadêmicos do grupo 01 estarem no 4º e 5º período do curso, boa parte não soube descrever conhecimentos a respeito da teoria cinética dos gases durante a vida estudantil; apenas L2G₁ e L4G₁ reportaram ter visto os conteúdos de gases ideais e reais somente na graduação.

No grupo 02, conforme o quadro 28, percebemos que a maioria (L9G₂, L10G₂, L11G₂, L12G₂) dos (as) participantes revelou não ter estudado o conteúdo de teoria cinética dos gases no ensino médio. Apenas L8G₂ e L13G₂ apresentaram alguns saberes inerentes ao assunto de gases. Verificamos ainda que L8G₂, apesar de estar cursando o 6º período do curso e ter concluído disciplinas na graduação que podem ter na ementa tal assunto, não descreveu nenhum assunto relacionado à Teoria Cinética dos Gases. L9G₂ e L12G₂, também do 6º período, citaram ter estudo na disciplina de físico-química 1, alguns conhecimentos. Esse fato pode ter ocorrido devido a alguns fatores, como esquecimento, apreensão, nervoso. E apenas L10G₂ não citou nenhum conhecimento relacionado ao assunto teoria cinética dos gases, porque falou que nunca estudou o conteúdo. E os demais (L8G₂, L9G₂, L11G₂, L12G₂, L13G₂) descreveram algum conhecimento inerente à teoria cinética dos gases durante a vida estudantil.

No grupo 03, conforme o quadro 28, constatamos que a maioria (L16G₃, L17G₃, L18G₃, L19G₃, L20G₃ e L21G₃) não estudou o conteúdo de teoria cinética dos gases no ensino médio. L16G₃, L18G₃ e L19G₃ citaram ter estudado alguns conteúdos relacionados à teoria cinética

dos gases apenas na graduação. E somente L14G₃ e L15G₃ estudaram gases no ensino médio e na graduação. L17G₃, L20G₃ e L21G₃ não lembraram de ter estudado.

A seguir, apresentamos o quarto momento de análise e discussão da pesquisa.

6.2 CONCEITO DE ALEATORIEDADE: ANÁLISE DOS DESENHOS (ETAPAS DO JOGO DIGITAL)

Neste segundo momento, buscamos, na análise dos desenhos construídos pelos (as) participantes, responder a primeira questão de pesquisa.

- 8) *Os participantes conseguem ilustrar em desenho, expor e compreender o conceito de aleatoriedade presente na Teoria Cinética dos Gases, durante o contexto proposto nas etapas construídas para um jogo digital?*

As respostas à pergunta acima foram norteadas por duas questões contidas no apêndice 05 (questão de número 1 e 3).

É importante elucidar que na pergunta de número 1 do apêndice 05, (*De acordo com a tela do computador (FIG. “1), faça um desenho de como as partículas vão se comportar ao apertamos o botão começar? Tempo para desenharem*), os (as) participantes ainda não haviam presenciado a movimentação aleatória das partículas no sistema proposto em cada etapa construída para o jogo digital.

Por isso, verificamos por meio da pergunta de número 3 do apêndice 05, (*Vamos ver como foi a sua previsão com relação à proposta nesta etapa de construção do jogo? Foi como você imaginava?*), como os (as) licenciandos (as) utilizam seus conhecimentos antes e após presenciarem a simulação do movimento aleatório das partículas em cada etapa.

As análises e discussões dos desenhos construídos nas etapas, seguem os padrões 01, 02, 03 e 04, os padrões os quais se referem ao número médio de partículas em cada quadrante I, II, III e IV; também buscamos encontrar nos desenhos uma distribuição homogênea das partículas no sistema. Em vista disso, esclarecemos que, durante todo o tempo das entrevistas, os (as) participantes ficaram visualizando as simulações do movimento aleatório das partículas.

Assim, se os alunos não possuem o conceito científico construído em sua mente e ou têm dificuldades em representar seus pensamentos no papel, poderiam construir esquemas a partir das experiências obtidas no contexto de aplicação das etapas para ilustrar um dos sistemas contidos nas figuras 12 a 23, conforme cada etapa. Ou seja, podem levar em consideração o contexto de aplicação das etapas construídas do jogo digital para reelaborar ou modificar sua maneira de ilustrar as partículas nos desenhos.

Os desenhos de cada participante estão estruturados conjuntamente (Etapa 1A, Etapa 1B, Etapa 1C, Etapa 1D), com a devida identificação.

Nesse contexto, de acordo com a fundamentação teórica da pesquisa, iniciamos as análises e discussões com os participantes do grupo 01 e, na sequência, com o grupo 02.

6.2.1 Participantes do grupo 01

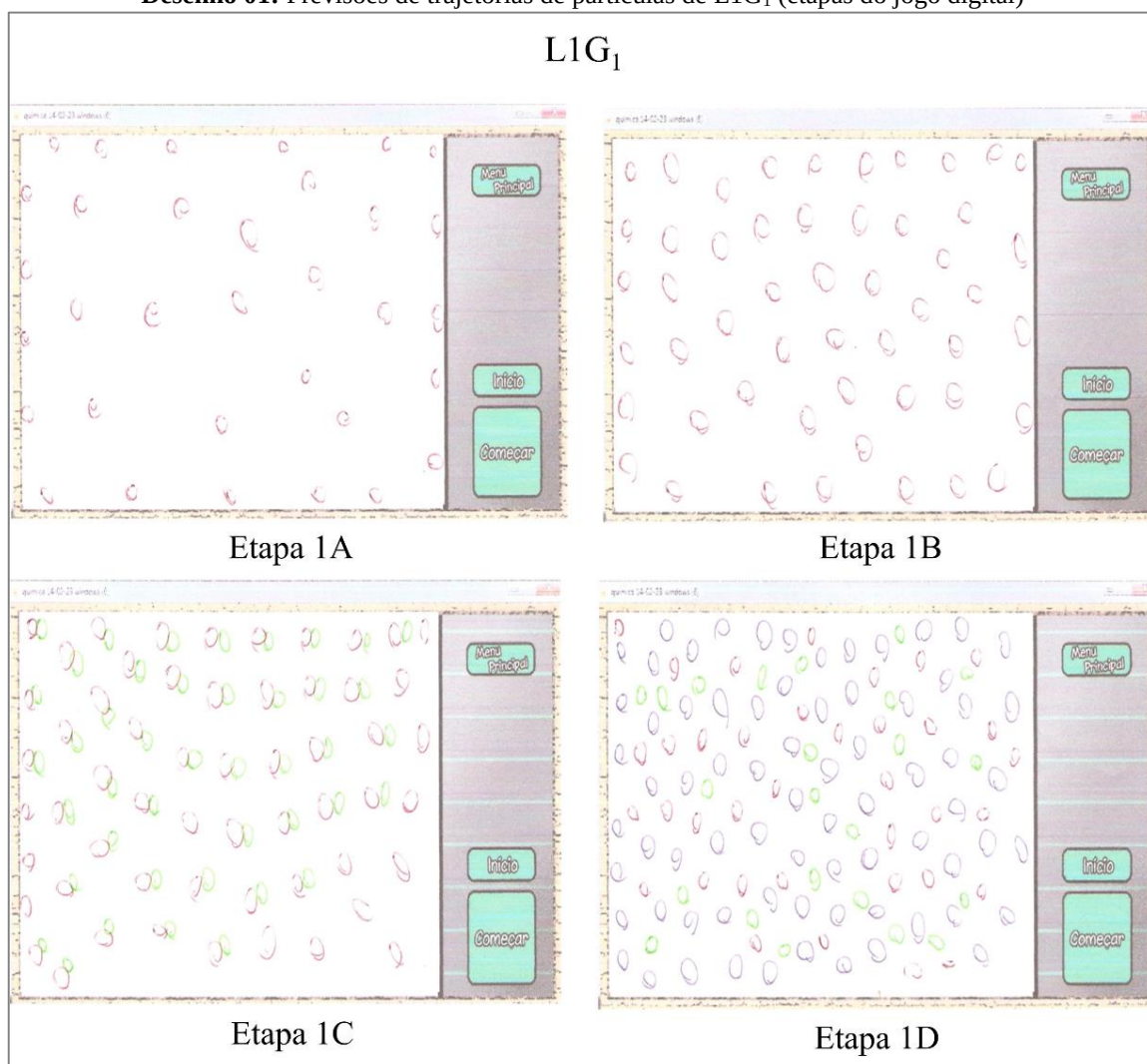
Para evitar repetições no texto, esclarecemos que as análises e discussões tiveram como base a figura 05, a qual retrata as etapas construídas do jogo digital, ou seja, as simulações do movimento aleatório das partículas.

Buscamos encontrar nos desenhos construídos para a etapa 1A, 35 partículas vermelhas distribuídas de maneira homogênea conforme o padrão 01. Nos desenhos construídos para a etapa 1B, também almejamos o mesmo da etapa anterior, mas, com a distribuição das esferas de acordo com o padrão 02. Nos desenhos construídos para a etapa 1C, buscamos encontrar 35 partículas vermelhas e 35 verdes distribuídas de forma homogênea conforme o padrão 03. Nos desenhos construídos para a etapa 1D, almejamos encontrar 45 partículas vermelhas, 45 azuis e 45 verdes distribuídas de forma homogênea conforme o padrão 4. Segue a análise do licenciado L1G₁.

No desenho 01 (etapa 1A, 1B, 1C e 1D), verificamos que L1G₁ não levou em consideração a quantidade de partículas, para prever suas trajetórias, pois no desenho da etapa 1A registrou 33 partículas vermelhas; na etapa 1B, 51 partículas vermelhas; na etapa 1C, 43 pares de partículas verdes com vermelhas e 14 partículas vermelhas sozinhas; na etapa 1D, 73 partículas azuis, 23 verdes e 37 vermelhas.

Nesse caso, L1G₁ não atingiu consideravelmente os padrões 01, 02, 03 e 04, principalmente nas etapas 1B e 1D, pois verificamos 16 partículas vermelhas a mais ilustradas no desenho da etapa 1B e 28 no desenho da etapa 1D. E, ainda na etapa 1C, verificamos os pares de esferas verdes com esferas vermelhas.

Apesar disso, no desenho 01, etapas 1A, 1B e 1D, L1G₁, o participante buscou representar uma distribuição homogênea das partículas no sistema.

Desenho 01: Previsões de trajetórias de partículas de L1G₁ (etapas do jogo digital)

Fonte: Dados da pesquisa

Após L1G₁ assistir à simulação do movimento aleatório entre as partículas na etapa 1A, constatou que suas previsões não foram muito parecidas como havia imaginado no desenho 01. Mas, na etapa 1B, concluiu que foi. Observe suas falas:

L1G₁: É parecido! É que não tem como expressar o movimento. (Etapa 1A).

L1G₁: Sim, foi. (Etapa 1B).

No desenho 01, etapa 1C, verificamos pares da partícula vermelha com a verde e também a linearidade descrita acima. Após L1G₁ observar a movimentação das partículas, percebeu que suas previsões no desenho não foram como havia imaginado:

L1G₁: Foram diferentes, elas se espalharam, mas elas não tiveram essa junção entre elas. (Etapa 1C).

Percebemos a importância deste momento para que o participante compreendesse e reelaborasse suas ideias quanto a não junção das partículas no sistema. Esse fato pode ser confirmado no desenho da etapa 1D (FIG. 29).

Nesse contexto, verificamos que L1G₁ se aproximou mais do padrão 04 nas ilustrações da etapa 1D, no que diz respeito à distribuição mais homogênea das partículas, sem a linearidade das etapas anteriores. Esse fato pode ter ocorrido devido a dois fatores: a quantidade e presença de três partículas no sistema.

Conforme Piaget (1987), percebemos que cada objeto novo, ou seja, cada etapa construída do jogo digital foi importante, porque propiciou ao participante buscar seus esquemas prévios, assimilar os conhecimentos contidos em cada momento e os acomodar a cada nova experiência. Esse fato é confirmado principalmente ao analisarmos no desenho 01, as ilustrações da etapa 1C com a 1D. Esse contexto permitiu ao participante refletir, comparar, pensar e reelaborar seus desenhos. Até aquele momento, emitiu respostas de senso comum do conceito de aleatoriedade.

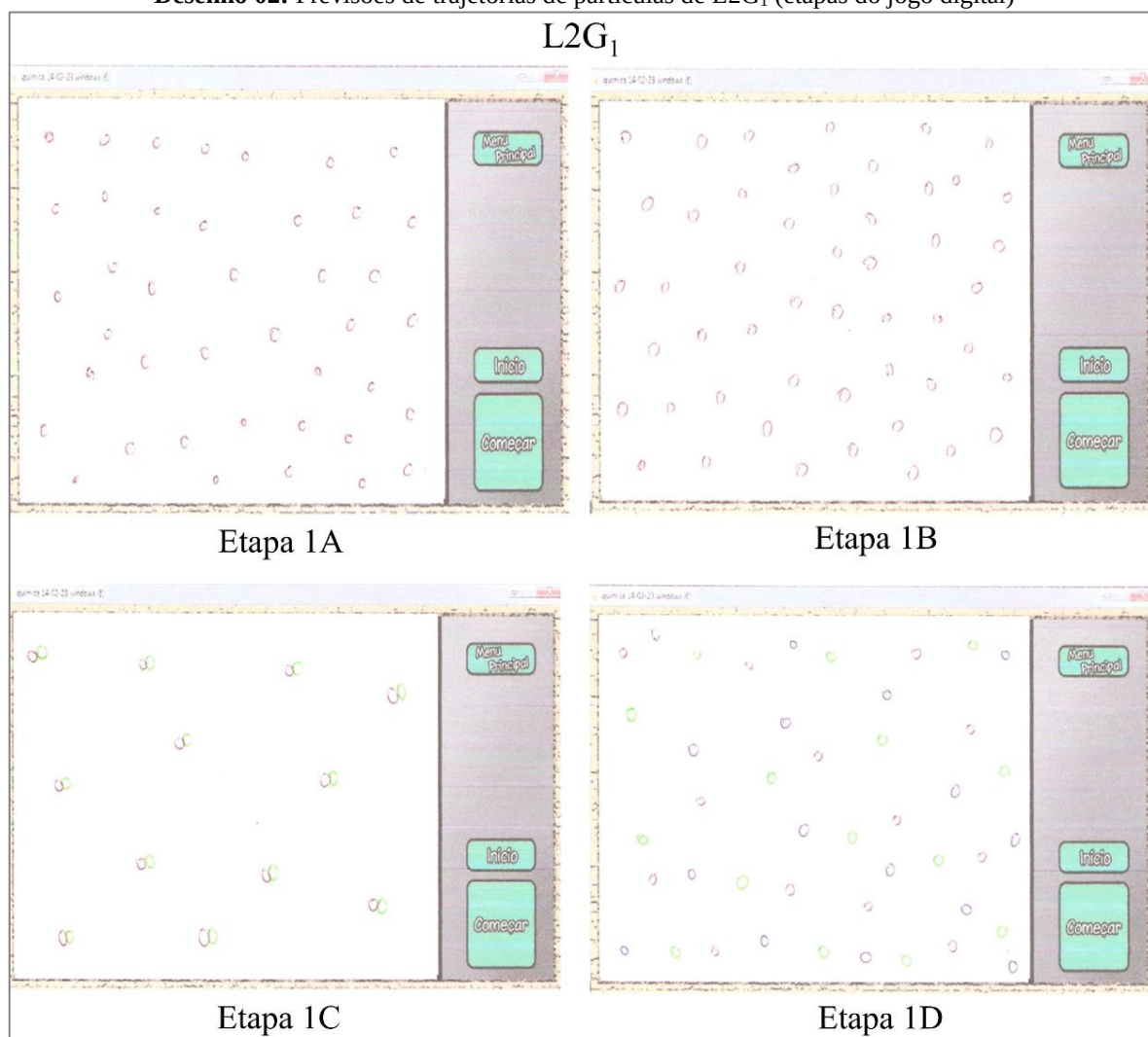
A seguir, apresentamos as análises e discussões dos dados obtidos com L2G₁.

No desenho 02 (etapa 1A, 1B, 1C e 1D), verificamos que L2G₁ não levou em consideração a quantidade de partículas para prever e ilustrar suas trajetórias, pois no desenho 02, na etapa 1A ilustrou 41 partículas vermelhas; na etapa 1B, 50 partículas vermelhas; na etapa 1C, 12 pares de partículas verde com vermelha; na etapa 1D, 13 partículas vermelhas, 15 verdes e 16 azuis.

Nesse caso, L2G₁ não atingiu consideravelmente os padrões 01, 02, 03 e 04, principalmente na etapa 1C, pois observamos pares de esferas verdes com vermelhas. Na etapa 1D, verificamos menos da metade das partículas vermelhas, verdes e azuis ilustradas.

No desenho 02, etapa 1A, notamos partículas ilustradas de modo linear nas duas primeiras fileiras e aglomerações em círculos das esferas, ou seja, uma partícula no meio e as demais em sua volta. Assim, mesmo após L2G₁ ter assistido à simulação do movimento aleatório entre as partículas, afirmou que suas previsões foram como havia imaginado.

No desenho 02, etapa 1C, verificamos pares de partículas vermelhas com verdes, portanto fora do padrão 03.

Desenho 02: Previsões de trajetórias de partículas de L2G₁ (etapas do jogo digital)

Fonte: Dados da pesquisa

Após L2G₁ assistir à simulação do movimento aleatório constatou que suas previsões não foram como havia imaginado. Observe sua fala:

L2G₁: Aí, elas não vão ficar juntas! Não é como eu previ! É como se fosse a atmosfera, tem vários gases, mas eles não se juntam, tem vários átomos, gases, eles ficam na atmosfera. (Etapa 1C).

Percebemos a importância desse momento para que L2G₁ compreendesse e reelaborasse suas ideias quanto a não junção das partículas no sistema. Esse fato pode ser confirmado no desenho 02, etapa 1D (FIG. 30). Em vista disso, apesar de L2G₁ não ter alcançado o padrão 04, observamos uma distribuição mais próxima da esperada, ou seja, um sistema mais homogêneo.

Após L2G₁ assistir à simulação do movimento aleatório entre as partículas na etapa 1D, verificamos novamente a retomada de sua fala, ao responder se suas previsões foram como havia imaginado no desenho. Observe suas falas nas etapas 1A, 1B e 1D:

L2G₁: É!!! (Etapa 1A).

L2G₁: Sim. (Etapa 1B).

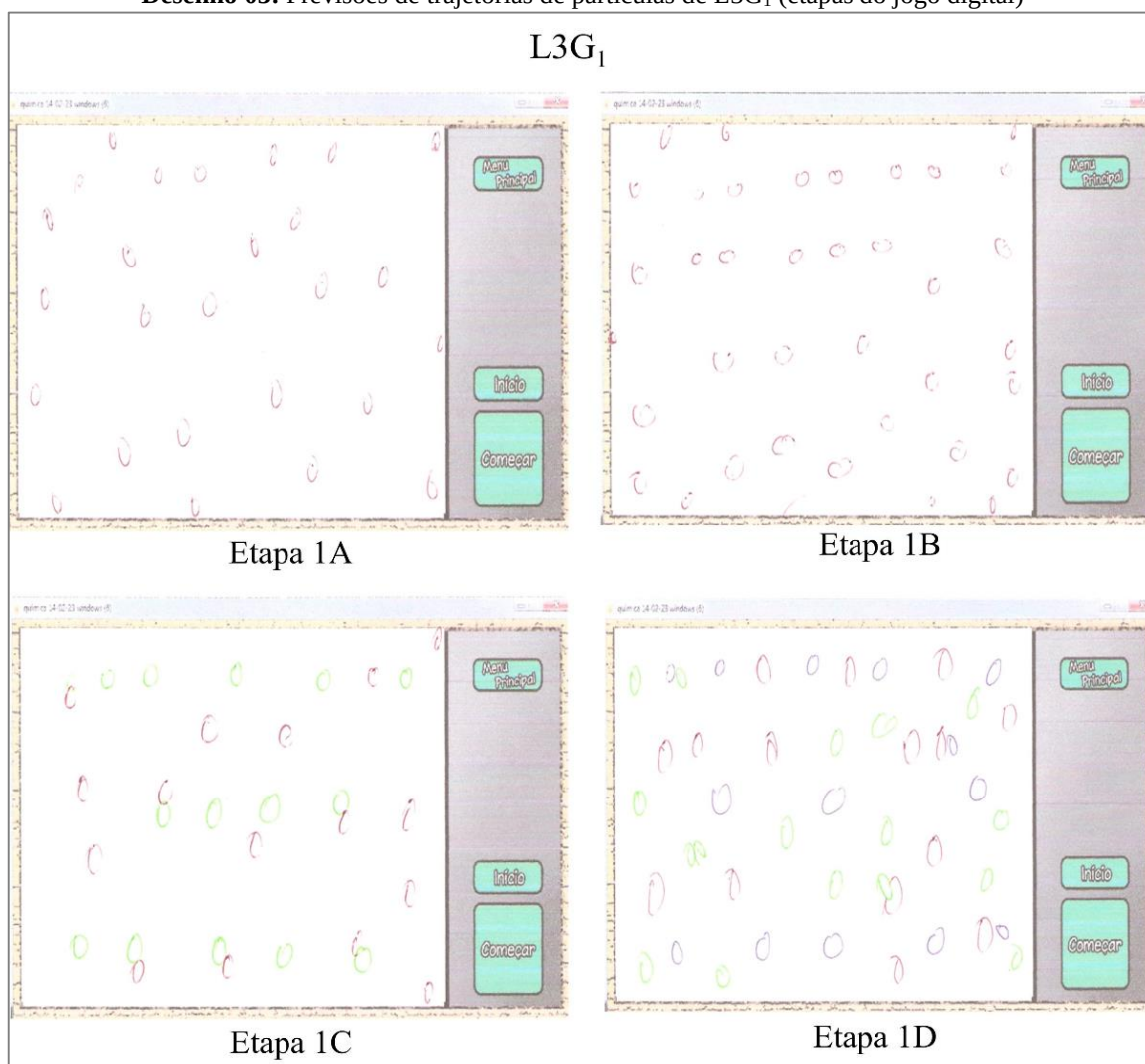
L2G₁: Está. (Etapa 1D).

Conforme Piaget (1987), percebemos que cada objeto novo, ou seja, cada etapa construída do jogo digital foi importante, porque propiciou à participante desenvolver esquemas, assimilá-los e acomodá-los para novas experiências. Portanto, o contexto vivenciado por L2G₁ levou-a a refletir, comparar, pensar e reelaborar seus desenhos e previsões, principalmente as ilustrações da etapa 1C e 1D no desenho 02. Além disso, suas falas revelaram possuir alguma noção do conceito de aleatoriedade.

A seguir, apresentamos as análises e discussões dos dados obtido com L3G₁.

No desenho 03 (etapas 1A, 1B, 1C e 1D), verificamos que L3G₁ não levou em consideração a quantidade de partículas, para prever e ilustrar suas trajetórias. É que, no desenho 03, etapa 1A, ilustrou 26 partículas vermelhas; na etapa 1B, 38 partículas vermelhas; na etapa 1C, 15 partículas verdes e 16 vermelhas, ilustrou 6 pares de partículas vermelhas com verdes; na etapa 1D, 15 vermelhas, 17 partículas verdes e 14 azuis, ilustrou 1 par de partícula azul com verde, 1 par de verde com verde e 1 par de vermelha com verde.

Verificamos que a participante não se aproximou de uma distribuição homogênea do sistema nas etapas 1A, 1C e 1D, porque observamos uma distribuição linear das partículas. Assim, na etapa 1D, apesar de notar uma linearidade das partículas na primeira linha, se aproximou mais da homogeneidade.

Desenho 03: Previsões de trajetórias de partículas de L3G₁ (etapas do jogo digital)

Fonte: Dados da pesquisa

A participante, após assistir à simulação do movimento aleatório nas etapas 1A e 1B, afirmou que suas previsões foram como havia imaginado porque ocorreram os choques, as partículas se bateram, voltaram. Observe suas falas:

L3G₁: É, batendo (falando das partículas no sistema), voltando, estão ocorrendo os choques. (Etapa 1A).

L3G₁: Foi. (Etapa 1B).

No desenho 03, etapa 1C, além de L3G₁ não ter alcançado o padrão 03, também verificamos pares de partículas vermelhas com verdes, distribuídas horizontalmente. Assim, após L3G₁ assistir à simulação do movimento aleatório, constatou que suas previsões não foram como havia imaginado:

L3G₁: Dá a impressão de que em algum momento elas ficaram próximas, mas depois elas se soltaram, elas não se ligaram formando composto. Elas se aproximaram por alguma interação ou ponte, ligação de hidrogênio ou polaridade. Eu imaginei que elas iam formar composto e se ajuntar. (Etapa 1C).

Esse momento foi importante para L3G₁ compreender e reelaborar suas ideias quanto a não formação de composto. Esse fato pode ser confirmado no desenho 03, etapa 1D.

No desenho 03, etapa 1D, além de L3G₁ não ter alcançado o padrão 04, observamos ainda uma distribuição horizontal das partículas, por exemplo, na primeira linha percebemos uma sequência linear para ilustrar as esferas.

Após L3G₁ assistir à simulação do movimento aleatório entre as partículas na etapa 1D, verificamos uma construção do conhecimento quando respondeu se suas previsões foram como havia imaginado no desenho. Observe sua resposta:

L3G₁: Isso. Elas se aproximam e se soltam. Mas elas não se juntam por ter se chocado porque estavam próximas. A partir do momento que elas têm um espaço, elas já se soltam. Quando elas estão em um espaço pouco, elas estão perto. Mas, se eles têm um espaço maior, eles se liberam e ficam sozinhos. (Etapa 1D).

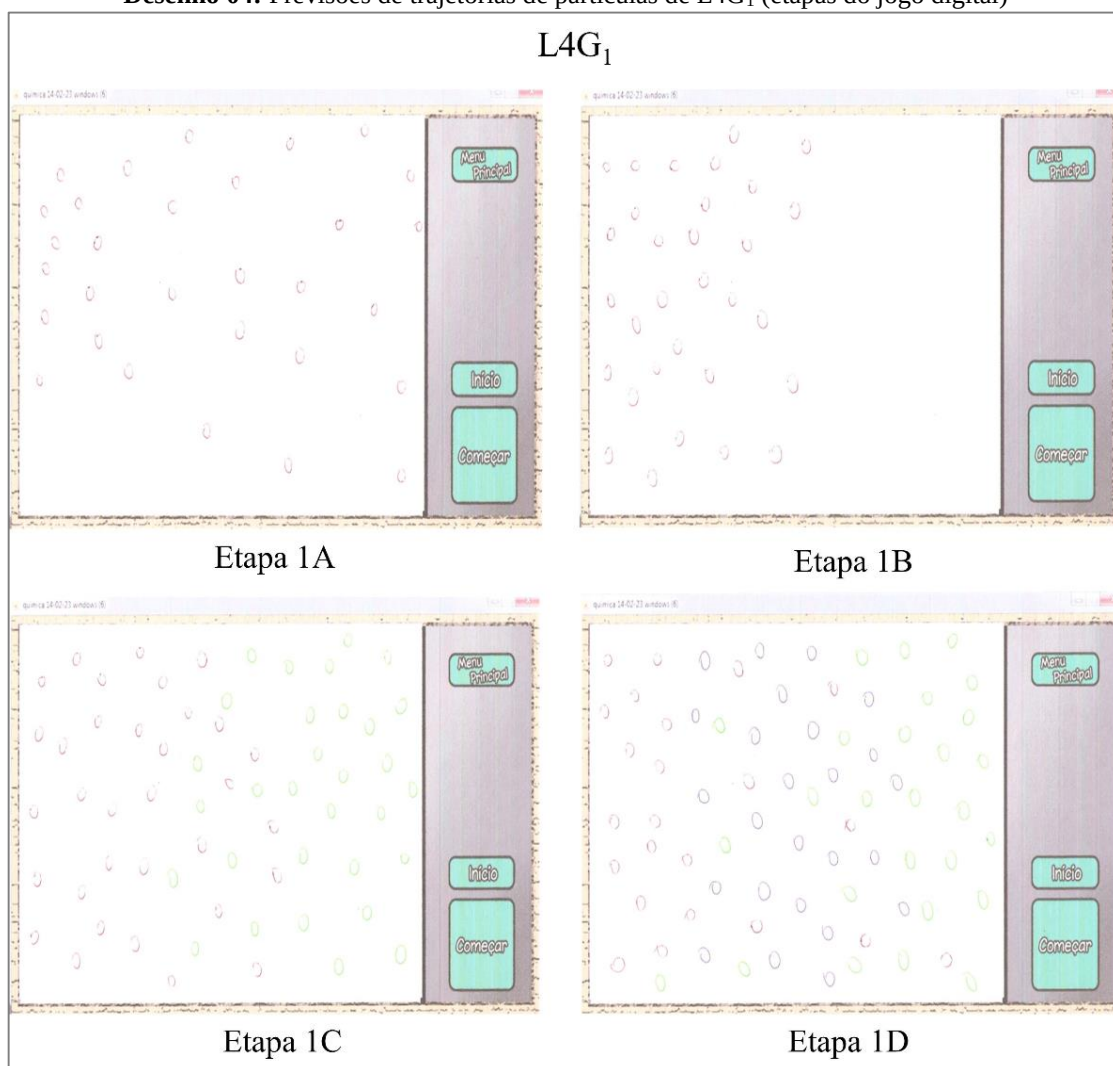
Na resposta acima, L3G₁ reporta para o fato de as partículas se aproximarem no sistema e se soltarem. Isso ocorre devido à programação do jogo, no qual pode acontecer de as partículas se movimentarem lado a lado por uns instantes ou se agruparem, não ocorrendo a formação de produtos. Segundo a “[...] teoria da colisão das reações bimoleculares em fase gasosa, os produtos só se formam se a colisão envolver energia suficiente; caso contrário, as moléculas reativas que colidem se separam sem reagir” (ATKINS, PAULA, FRIEDMAN 2011, 244-245).

Constatamos que cada objeto novo (PIAGET, 1987), ou seja, cada etapa construída do jogo digital foi importante porque propiciou à participante desenvolver esquemas ao assimilar os conhecimentos contidos em cada momento, principalmente na análise do desenho 03, etapa 1C em comparação com os demais. Portanto, o contexto vivenciado por L3G₁ levou-a a refletir, comparar, pensar e reelaborar seus desenhos, previsões e falas, mostrando-nos assim, possuir alguma noção do conceito de aleatoriedade.

A seguir, apresentamos as análises e discussões dos dados obtido com L4G₁.

No desenho 04 (etapa 1A, 1B, 1C e 1D), verificamos que L4G₁ também não levou em consideração a quantidade de partículas, para prever e ilustrar suas trajetórias, pois, no desenho da etapa 1A ilustrou 30 partículas vermelhas; na etapa 1B, 31 partículas vermelhas; na etapa 1C, 33 partículas vermelhas e 31 verdes; na etapa 1D, 23 vermelhas, 27 verdes e 25 azuis.

Verificamos uma aproximação do padrão 01 somente na etapa 1A, mas não há uma distribuição homogênea das esferas no sistema.

Desenho 04: Previsões de trajetórias de partículas de L4G₁ (etapas do jogo digital)

Fonte: Dados da pesquisa

A participante afirmou que suas previsões foram mais ou menos como havia imaginado, logo após assistir à simulação do movimento aleatório na etapa 1A:

L4G₁: É, foi mais ou menos o que eu pensava. (Etapa 1A).

No desenho 04, etapa 1B, notamos a presença de trajetórias somente do lado esquerdo. Nesse caso, intuímos que L4G₁ possa ter considerado a disposição inicial das partículas (FIG. 05, Etapa 1B), para ilustrar só no meio do papel ou ainda prever o início da movimentação das esferas, pois para ela suas trajetórias previstas no desenho foram sim, como havia imaginado.

Uma dessas intuições é confirmada na fala da etapa 1D, quando a participante respondeu se suas previsões das esferas foram como havia imaginado:

L4G₁: Sim. É. No início elas misturam entre elas, depois elas se separam tudo assim, depois elas começam a se misturar umas com as outras. (Etapa 1C).

Por isso, ao compararmos o desenho 04 da etapa 1B com o da etapa 1C, percebemos que a participante manteve a ilustração das trajetórias das partículas levando em consideração o movimento inicial do jogo, logo após acionar a tecla começar.

No desenho 04, etapa 1D, L4G₁ também levou em consideração o movimento inicial das partículas, por isso verificamos as distribuições das esferas como no começo da simulação. Assim, a participante fugiu do padrão 04 e não esboçou um sistema homogêneo.

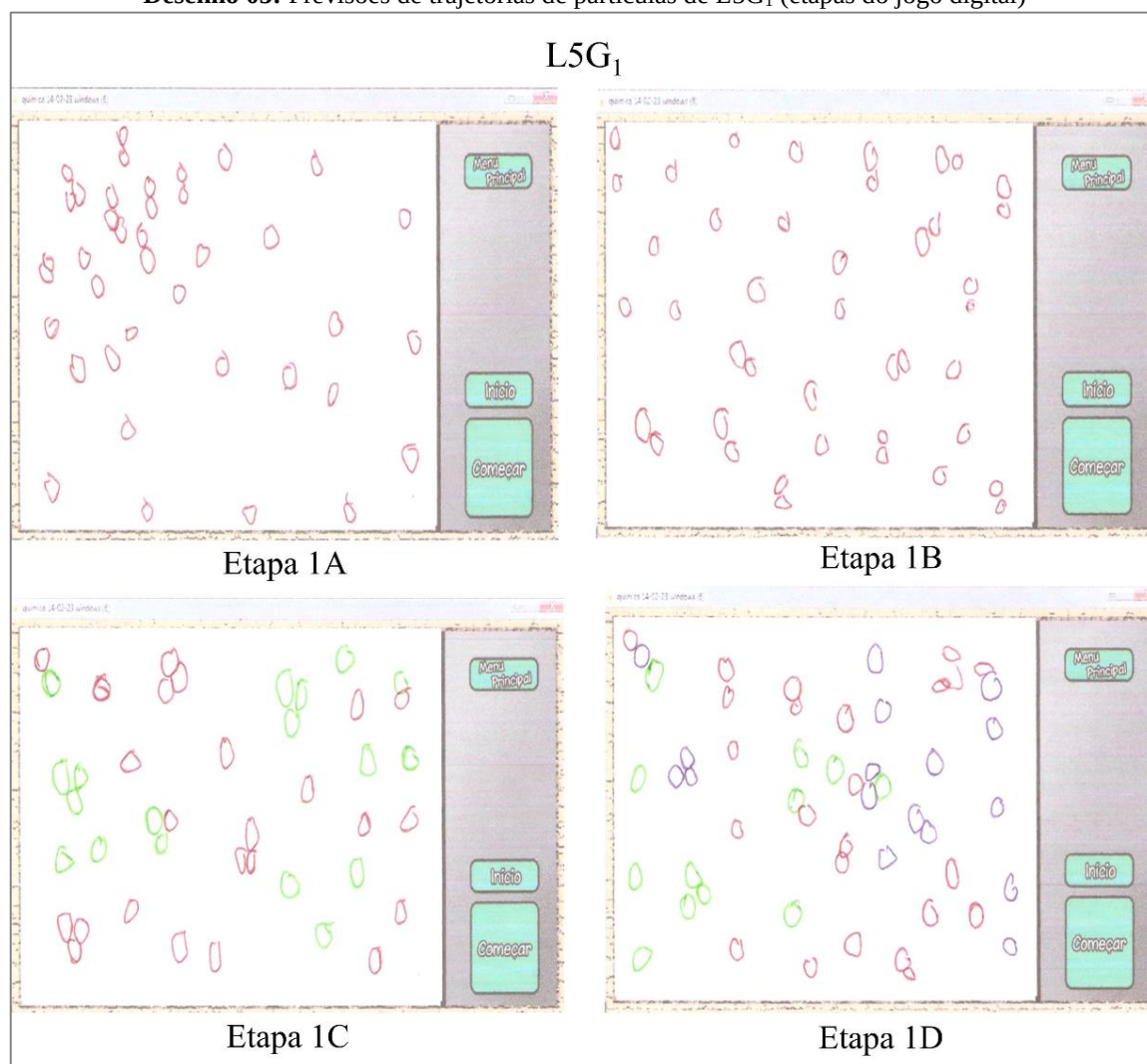
Diante do exposto, percebemos que, apesar de a participante ter ilustrado a movimentação das partículas logo após a simulação, buscou uma aproximação do sistema homogêneo nas etapas 1A, 1C e 1D. Além disso, a participante revelou deter uma concepção mais próxima da científica do conceito de aleatoriedade, porque no desenho 04, etapa 1C, não ilustrou nem falou de formação de produtos, assim como verificamos em L1G₁, L2G₁ e L3G₁.

A seguir, apresentamos as análises e discussões dos dados obtidos com L5G₁.

No desenho 05 (etapa 1A, 1B, 1C e 1D), verificamos que L5G₁ também não levou em consideração a quantidade de partículas, para prever e ilustrar suas trajetórias. Assim, não alcançou os padrões (01, 02, 03, 04) estabelecidos.

Verificamos que a participante não se aproximou de uma distribuição homogênea do sistema nas etapas, porque ilustrou o que vivenciou nas etapas. Assim, percebemos que suas previsões se aproximam das ilustrações obtidas entre as figuras 12 e 23, sendo, portanto, prováveis de ocorrer.

No desenho 05, etapa 1A, verificamos 30 partículas vermelhas, as quais estão distribuídas em 23 vermelhas sozinhas, 5 pares de vermelha, 2 trios de vermelha, pares e trios de partículas vermelhas somente do lado esquerdo, uma concentração maior de trajetórias do lado esquerdo.

Desenho 05: Previsões de trajetórias de partículas de L5G₁ (etapas do jogo digital)

Fonte: Dados da pesquisa

Após L5G₁ assistir à simulação do movimento aleatório das partículas na etapa 1A, verificamos uma concepção de senso comum do conceito de aleatoriedade, ao responder se suas previsões haviam sido como propostas no desenho. Observe sua fala:

L5G₁: Isso mesmo, bate uma na outra e elas vão para todos os lados. (Etapa 1A).

A participante relatou que as esferas ilustradas em pares e trios do lado esquerdo se referem ao momento da aproximação das esferas durante a simulação:

L5G₁: Porque tem umas que estão juntinhas, está vendo? Uma fica juntinha, bate uma na outra e depois sai. (Etapa 1A).

No desenho 05, etapa 1B, também confirmamos esse pensar, pois verificamos 42 partículas vermelhas distribuídas em 2 pares de vermelha, 18 partículas sozinhas e 20 vermelhas próximas. Portanto, não obteve o padrão 02.

No desenho 05, etapa 1C, apesar de a participante não ter alcançado o padrão 03, revelou que sua previsão foi como havia imaginado, como indica a sua resposta:

L5G₁: É, foi isso. Olha lá a vermelha se chocando! (Etapa 1C).

No desenho 05, etapa 1D, verificamos 12 partículas verdes, 17 azuis e 23 vermelhas representadas em pares, trios e quartetos. Portanto, não obteve o padrão 04.

Nas ilustrações feitas por L5G₁ no desenho 05, verificamos pares de partículas. Esse fato pode ter ocorrido devido à proposta da simulação, pois ocorrem momentos em que as partículas se aproximam umas das outras, mas sem a formação de produtos.

Esta percepção foi observada e mantida por L5G₁, ao explicar suas ilustrações no desenho 05, etapa 1D. Observe sua resposta:

L5G₁: Sim, grudadinhas. No caso, elas grudam uma na outra e se soltam. É meio que como se elas estivessem uma próxima da outra uma verde, uma vermelha, vermelha e se soltam. (Etapa 1D).

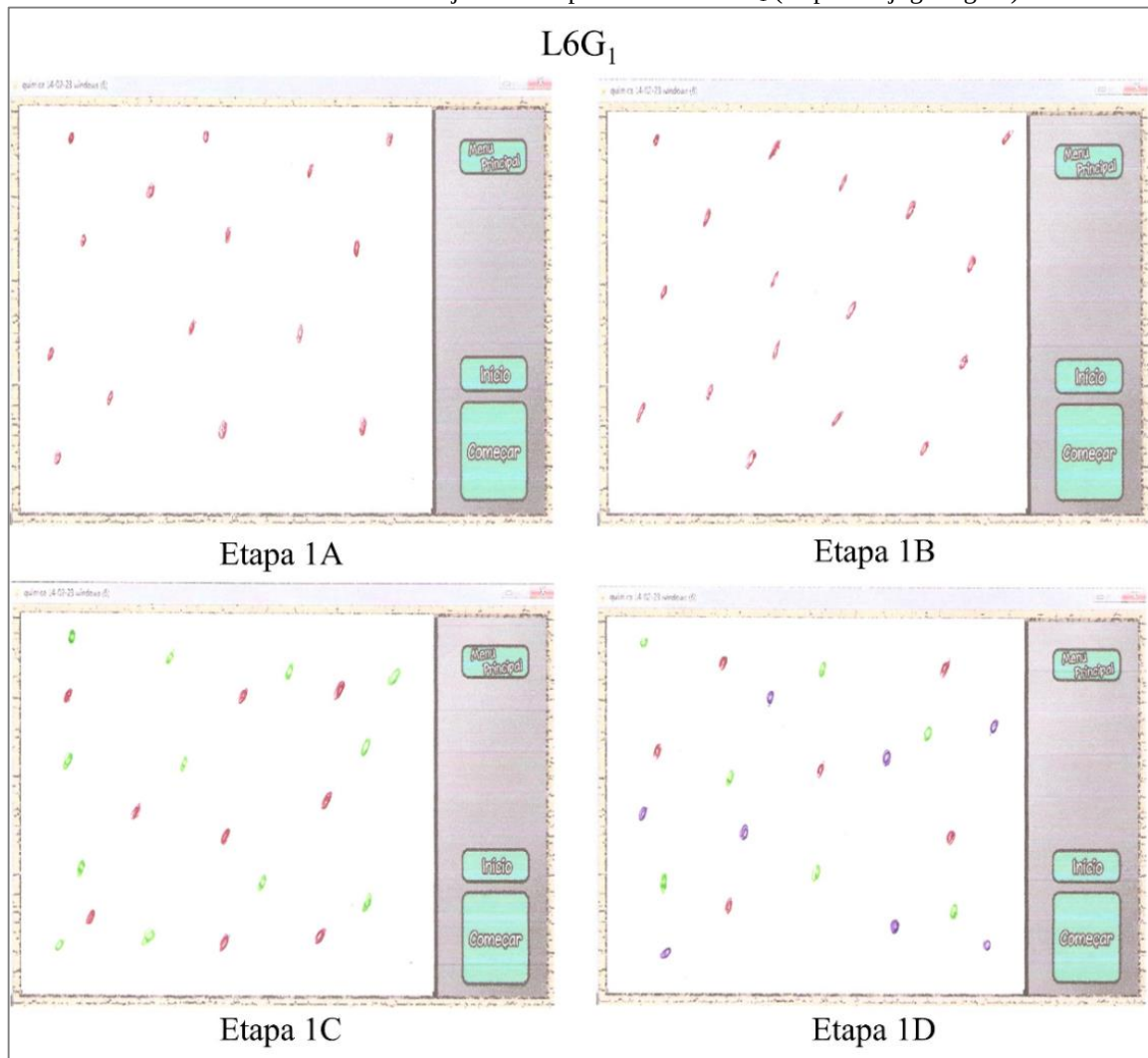
Dado o evidenciado, concluímos que a participante levou em consideração o contexto vivenciado nas etapas, construindo esquemas a fim de assimilá-los para explicar e entender o que lhe foi solicitado (PIAGET, 1987, 2012).

O desenho 05 e suas falas confirmam que levou em consideração as experiências obtidas no contexto de aplicação das etapas, ilustrando e falando o que vivenciou. Com isso, verificamos que L5G₁ buscou representar o que observou nas quatro etapas. Além disso, revelou possuir alguma noção do conceito de aleatoriedade.

A seguir, apresentamos as análises e discussões dos dados obtidos com L4G₁.

No desenho 06 (etapa 1A, 1B, 1C e 1D), verificamos que L6G₁ não levou em consideração a quantidade de partículas, para prever e ilustrar suas trajetórias, pois no desenho da etapa 1A registrou apenas 15 partículas vermelhas; na etapa 1B, 17 partículas vermelhas; na etapa 1C, somente 12 partículas verdes e 9 vermelhas; na etapa 1D, 06 vermelhas, 07 verdes e 08 azuis. Por isso, não alcançou os padrões 01, 02 03 e 04.

Verificamos que o participante buscou uma aproximação de uma distribuição homogênea do sistema nas etapas 1A, 1C e 1D. Além disso, manteve sua maneira de ilustrar as partículas no sistema. Verificamos, assim, que utilizou seus esquemas prévios, uma vez que não mudou suas ideias para construir o desenho 06.

Desenho 06: Previsões de trajetórias de partículas de L6G₁ (etapas do jogo digital)

Fonte: Dados da pesquisa

Apesar de L6G₁ não ter alcançado os padrões (01, 02, 03, 04) estabelecidos, verificamos em suas respostas que suas previsões de trajetórias das partículas foram como havia imaginado. Observe suas respostas, consecutivamente:

L6G₁: Sim. (Etapa 1A).

L6G₁: Foi. (Etapa 1B).

L6G₁: Sim. (Etapa 1C).

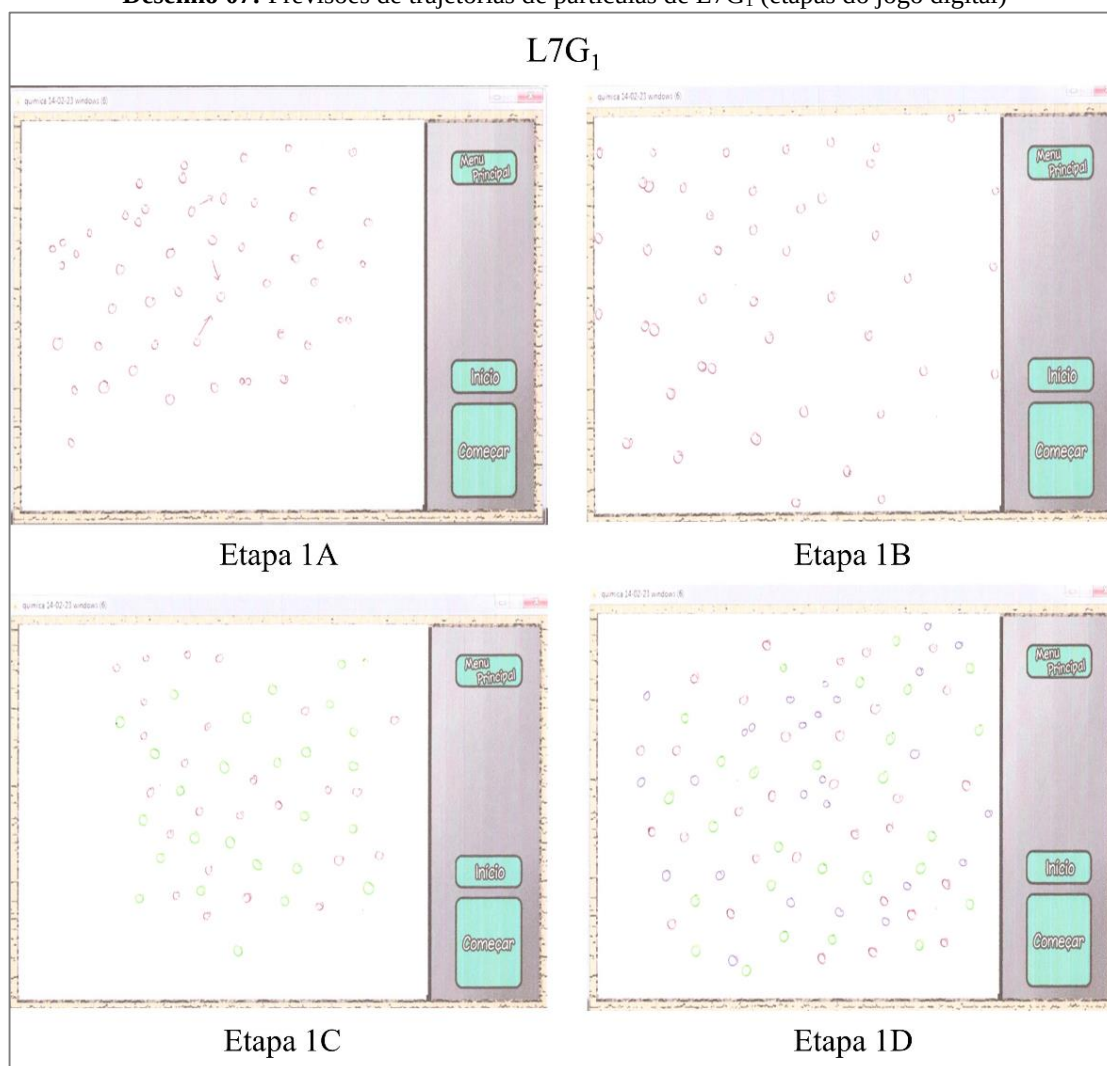
L6G₁: (Risos), foi. (Etapa 1D).

Nessas falas, notamos que, mesmo após de L6G₁ vivenciar as simulações do comportamento aleatório do sistema, nas quatro etapas, não mudou sua maneira de pensar e ilustrar as partículas no sistema. Além disso, na análise do desenho 06, percebemos que o participante buscou representar uma distribuição homogênea das partículas.

Nesse contexto, as etapas de construção do jogo foram importantes para percebermos uma conservação da concepção de $L6G_1$ no que diz respeito à aleatoriedade do sistema. Dessa maneira, revelou deter uma concepção mais próxima da científica do conceito de aleatoriedade. Também confirmamos este fato ao comparamos, no desenho 06, as ilustrações da etapa 1C com a 1D, pois a inserção de outras partículas não alterou à sua maneira de ilustrar as esferas nem de pensar.

A seguir, apresentamos as análises e discussões dos dados obtidos com $L7G_1$.

No desenho 07 (etapa 1A, 1B, 1C e 1D), verificamos que $L7G_1$ não levou em consideração a quantidade de partículas, para prever e ilustrar suas trajetórias, pois no desenho da etapa 1A há 50 partículas vermelhas, dentre elas com três setas, alguns espaços vazios na parte inferior do desenho e no canto do lado esquerdo; na etapa 1B, 45 partículas vermelhas, esboçou algumas partículas vermelhas próximas. Os desenhos, nas duas etapas, não estão de acordo com o padrão 01 e 02.

Desenho 07: Previsões de trajetórias de partículas de L7G₁ (etapas do jogo digital)

Fonte: Dados da pesquisa

Constatamos que as visualizações das simulações aleatórias das partículas nas etapas 1A e 1B proporcionaram à participante pensar, refletir, comparar suas previsões de trajetórias e fazer generalizações, para explicar e responder se foi como havia imaginado nos desenhos. Observe suas falas:

L7G₁: É. Se bem que tem hora que elas trombam! (Etapa 1A).

L7G₁: Nossa, gente! Algumas realmente ficam juntinhas! (Etapa 1B).

Estas falas revelam uma tentativa da licencianda em construir esquemas, conforme Piaget (1987, 2012), para compreender o que vê nas simulações das etapas e o seu pensar. Confirmamos essa análise quando perguntamos se ela havia percebido alguma relação com as duas etapas, como indica sua resposta:

L7G₁: Na etapa anterior elas estavam dispersas, mas elas não ficavam um momento, pelo menos o que eu observei, não ficava um momento assim grandes juntinhas. E, agora, nessa etapa, elas já estão um pouco mais devagar e elas ficam umas mais juntinhas com as outras, alguma assim.

Verificamos no desenho 07, etapa 1C, que L7G₁ permaneceu com espaços sem ilustrar trajetórias de partículas e ainda, não há partículas no canto superior e inferior do lado esquerdo, ilustrou apenas 27 partículas verdes e 25 vermelhas, não alcançando o padrão 03. Uma evolução da participante foi não ter ilustrado pares de partículas, partículas próximas ou juntas, como nas etapas anteriores. Além disso, constatamos que a participante buscou representar o que vivenciou, fugindo de uma distribuição homogêneas do sistema.

No desenho 07, etapa 1D, L7G₁ ilustrou somente 31 partículas vermelhas, 27 verdes e 26 azuis, priorizando, como nas etapas 1A e 1C, o meio do papel. Este fato pode ter ocorrido devido à escolha da participante ou durante a simulação visualizada por ela em determinados momentos. É o que indica a sua resposta à pergunta quanto à previsão ter sido como imaginado:

L7G₁: É, no começo eles tendem a ficar, por exemplo, a partícula verde fica mais junta da partícula verde, e a vermelha delas mesmas. E, depois, que eles vão se dissipando aos poucos e misturando.

As etapas de construção do jogo foram importantes porque proporcionou verificarmos, conforme Piaget (1987, 2012), a capacidade de L7G₁ em construir esquemas e assimilá-los à sua realidade. Este fato é confirmado no desenho 07, uma vez que as ilustrações das partículas nas etapas se diferem. Com isso, a participante se aproximou bem pouco de um sistema homogêneo, na etapa 1D, situação que pode ser atribuída à quantidade de partículas no sistema.

Contudo L7G₁ nos revelou ter levado em consideração as movimentações observadas nas etapas, pois suas previsões no desenho 07 são prováveis, conforme figuras 12 a 23. Verificamos ter sido mais fácil para a participante falar a respeito da aleatoriedade, revelando um saber de senso comum, do que representar seus pensamentos no papel.

A partir da análise realizada com do grupo 01, podemos responder a primeira pergunta e concluir que os sete os (as) participantes conseguiram ilustrar nos desenhos as partículas, seja a partir de seus esquemas prévios ou construindo novos a partir de cada experiência vivida durante a aplicação das etapas. Porém observamos que os participantes desse grupo não levaram em consideração a quantidade de partículas contidas nas etapas (FIG. 05) para ilustrar as trajetórias das partículas nos desenhos, sem alcançar os padrões 01, 02, 03 e 04.

Diante desse resultado, concluímos, com base em Piaget e Inhelder (1951), que os participantes não entendem a composição probabilística do sistema, porque os processos não podem ser assimilados dedutivamente. É partindo daí que se elabora a composição probabilista como, por exemplo, o caso da mistura: “[...] por ser a mistura um processo irreversível, ao passo

que o sistema das operações de permutações - ao qual é assimilada por analogia – é em compensação inteiramente reversível, a ponto de as permutações formarem um <grupo> matematicamente típico” (PIAGET; INHELDER, 1951, p. 314).

Outro dado constatado foi que a maioria dos (as) participantes (L1G₁, L2G₁, L3G₁, L4G₁, L6G₁) buscou uma aproximação da distribuição homogênea do sistema em alguns desenhos das etapas. Dentre esses, destaca-se o participante L6G₁, pois se manteve nessa busca em todas as ilustrações das etapas; já L1G₁, L2G₁ e L3G₁, nas etapas 1A, 1B e 1D, e L4G₁, nas etapas 1A, 1C e 1D.

No grupo 01, verificamos que L5G₁ e L7G₁ buscou ilustrar nos desenhos o que vivenciou no contexto de aplicação das etapas construídas para o jogo digital.

Além disso, observamos que L1G₁, L2G₁ e L3G₁ representaram pares de partículas nos desenhos da etapa 1C, revelando em suas falas serem a formação de produtos. Contudo romperam com essa visão ao reelaborar seus desenhos e discursos na etapa 1D.

Até este momento, verificamos uma noção quanto ao conceito de aleatoriedade de L2G₁, L3G₁ e L5G₁, uma concepção de senso comum de L1G₁ e L7G₁, e uma concepção mais próxima da científica de L4G₁ e L6G₁.

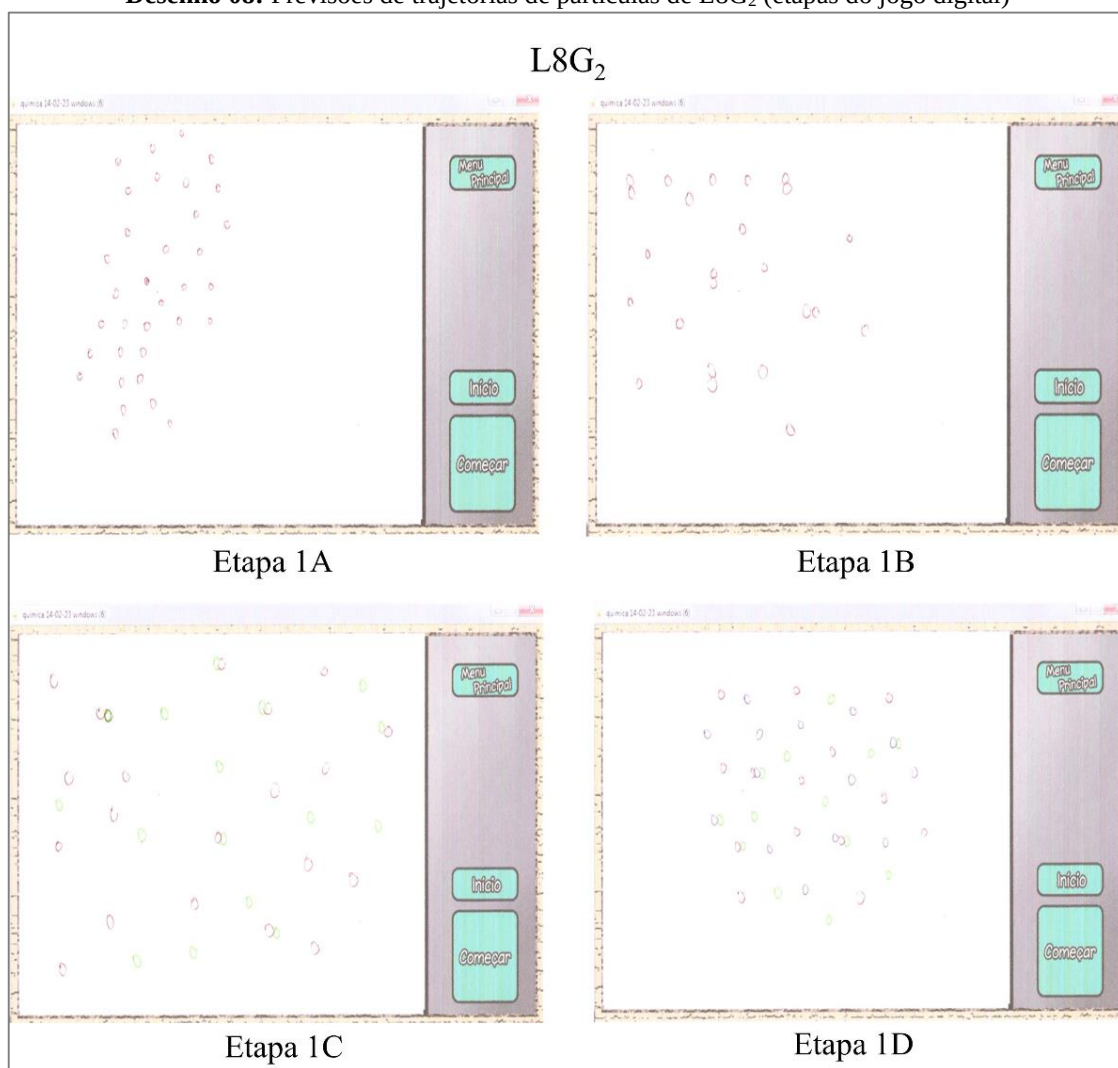
Seguem, as análises e discussões dos dados obtidos com os participantes do grupo 02.

6.2.2 Participantes do grupo 02

Para analisar e discutir os dados do grupo 02, seguimos o mesmo procedimento desenvolvido com os participantes do grupo 01. Segue a análise do licenciando L8G₂.

No desenho 08 (etapas 1A, 1B, 1C e 1D), verificamos que L8G₂ não levou em consideração a quantidade de partículas, para prever e ilustrar suas trajetórias.

No desenho 08, etapa 1A, há 34 partículas vermelhas, faltando apenas 01 para as 35 disponíveis na figura 5 (Etapa 1A). Contudo, L8G₂ fugiu do padrão 01, porque concentrou as partículas próximo ao meio do desenho.

Desenho 08: Previsões de trajetórias de partículas de L8G₂ (etapas do jogo digital)

Fonte: Dados da pesquisa

Na sequência, ao ver as simulações aleatórias das partículas na etapa 1A, L8G₂ pôde pensar, refletir e comparar que suas previsões de trajetórias não foram como havia imaginado. Observe sua fala:

L8G₂: Não. Elas se espalharam por tudo. (Etapa 1A).

No desenho 08, etapa 1B, L8G₂ representou 14 partículas vermelhas sozinhas, 5 pares de vermelha com vermelha, concentrou as colisões das azuis com a vermelha do meio para o lado esquerdo. Portanto, fugiu do padrão 02. Neste contexto, mesmo após L8G₂ ter observado a simulação aleatória do comportamento das partículas, exclamou que suas previsões foram como havia imaginado, como indica sua fala:

L8G₂: Ah, ficou igual! (Etapa 1B).

No desenho 08, etapa 1C, L8G₂ distribuiu por todo o desenho 14 partículas vermelhas sozinhas, 10 partículas verdes sozinhas e 6 pares de vermelha com vermelha. Apesar de a participante não ter alcançado o padrão 03, revelou ter construído esquemas ao assimilar os conhecimentos obtidos nas etapas anteriores, pois reestruturou as suas trajetórias das partículas e se aproximou de uma distribuição homogênea do sistema.

Outro fato analisado na etapa 1C é que a inserção de mais uma partícula oportunizou a participante pensar, refletir e entender o que fez nas suas previsões, como indica sua fala:

L8G₂: Ficou meio a meio. Elas ficam ligadas com diferentes e outras com outras cores. (Etapa 1C).

Em vista disso, L8G₂ ainda não revelou se a palavra ‘ligadas’ se refere à formação de composto, como verificamos as partículas desenhadas em pares na etapa 1C. Assim, questionamos a participante quanto a esta questão e ela nos revelou outros saberes que não condizem com a aleatoriedade do sistema. Perceba:

L8G₂: Ah, ficam atraídas ou estão se chocando. Não, mas eu acho que elas estão sendo atraídas. (Etapa 1C).

Nesta fala, percebemos que L8G₂ levou em consideração o contexto das etapas para entender e explicar o que fala; até o momento, revelou esquemas prévios que não dizem respeito ao conceito de aleatoriedade.

No desenho 08, etapa 1D, verificamos 11 partículas vermelhas, 08 verdes, 10 azuis, 2 trios (vermelha/azul/verde), 2 pares de azul com verde e 1 par de verde com vermelha, todas concentradas no meio do desenho. Assim, além de a participante não ter atingido o padrão 04, ainda falou que suas previsões foram mais ou menos como havia previsto. Perceba em sua fala:

L8G₂: É, mais ou menos. (Etapa 1D)

Durante as aplicações das etapas, podemos concluir que não foi fácil para L8G₂ apresentar suas concepções para construir os desenhos, revelando não compreender muito bem a aleatoriedade proposta nas simulações. Essa situação é confirmada, principalmente, no desenho 08, etapas 1A e 1D.

Mesmo depois de L8G₂ ter visualizado várias etapas, a maneira de ilustrar as partículas foi mantida até a última etapa. Poderíamos supor que fossem momentos aos quais as partículas ficam próximas na visualização, mas suas respostas conferem sua concepção errônea, pois falou que suas ilustrações representam as interações entre as partículas e as atrações que podem ocorrer entre algumas partículas.

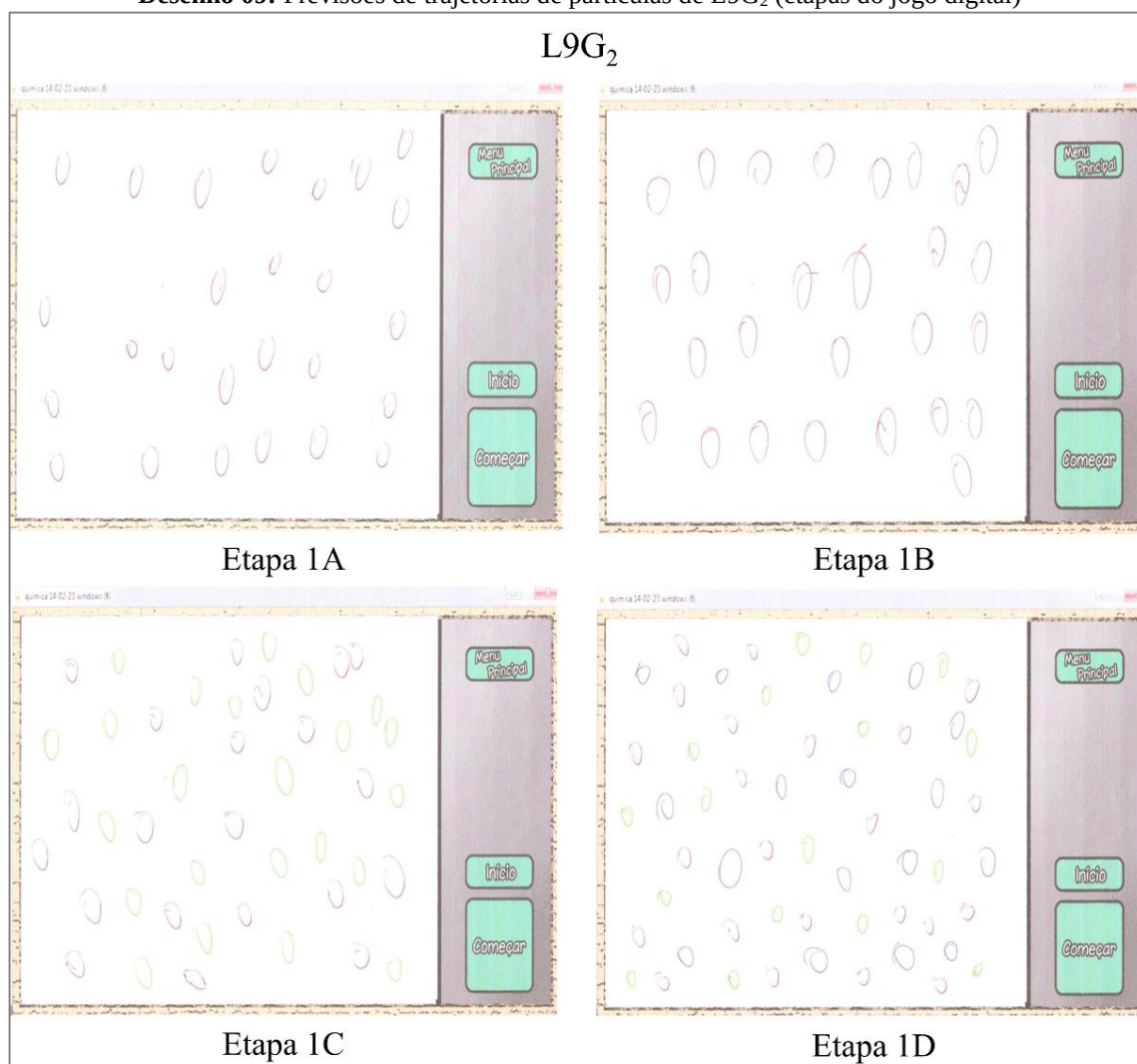
Para a participante, os pares representados no desenho da etapa 1C se referem às atrações que ocorrem entre as partículas, mantendo essa ideia no desenho e nos discursos da etapa 1D. Senso assim, a participante apresentou ainda um componente dedutivo de causalidade.

Diante dos fatos, concluímos perante o desenho 08 que a participante, apesar de ter ilustrado algumas partículas juntas na etapa 1C, buscou uma aproximação de distribuição homogênea das partículas. No entanto suas ilustrações são pouco prováveis (principalmente na etapa 1D) de ocorrer ao analisarmos as simulações contidas nas figuras de 12 a 23. E suas falas revelaram ideias de senso comum do conceito de aleatoriedade.

A seguir, apresentamos as análises e discussões dos dados obtidos com L9G₂.

No desenho 09 (etapas 1A, 1B, 1C e 1D), verificamos que L9G₂ não levou em consideração a quantidade de partículas para prever e ilustrar suas trajetórias, pois há na etapa 1A, 26 partículas vermelhas; na etapa 1B, 27 partículas vermelhas; na etapa 1C, 21 partículas vermelhas e 23 verdes; na etapa 1D, 23 vermelhas, 17 verdes, 17 azuis.

Percebemos que o participante buscou uma aproximação da distribuição homogênea do sistema, mesmo não tendo alcançado os padrões 01, 02, 03 e 04.

Desenho 09: Previsões de trajetórias de partículas de L9G₂ (etapas do jogo digital)

Fonte: Dados da pesquisa

Constatamos que, mesmo após o participante ter observado a simulação do movimento aleatório das partículas na etapa 1A, manteve a mesma maneira de ilustrar as trajetórias no desenho 09, etapa 1B. No entanto, nessa etapa, falou que suas previsões foram como havia imaginado. É o que indicam suas respostas:

L9G₂: Não muito porque eu não desenhei tão em ordem. (Etapa 1A).

L9G₂: Foi. (Etapa 1B).

No desenho 09, etapas 1C e 1D, apesar de o participante não ter alcançado os padrões 03 e 04, verificamos uma evolução quanto à ilustração das partículas, distribuindo-as por todo o espaço disponível. Esse fato pode ter ocorrido, devido a dois fatores: quantidade e inserção de outras partículas. Mas, para L9G₂, suas previsões foram como havia imaginado.

Outro fato analisado no desenho 09, etapa 1C, foi que L9G₂ não ilustrou partículas juntas nem próximas. Essa constatação foi confirmada em sua resposta quanto às percepções verificadas entre as etapas anteriores. Como indica sua fala:

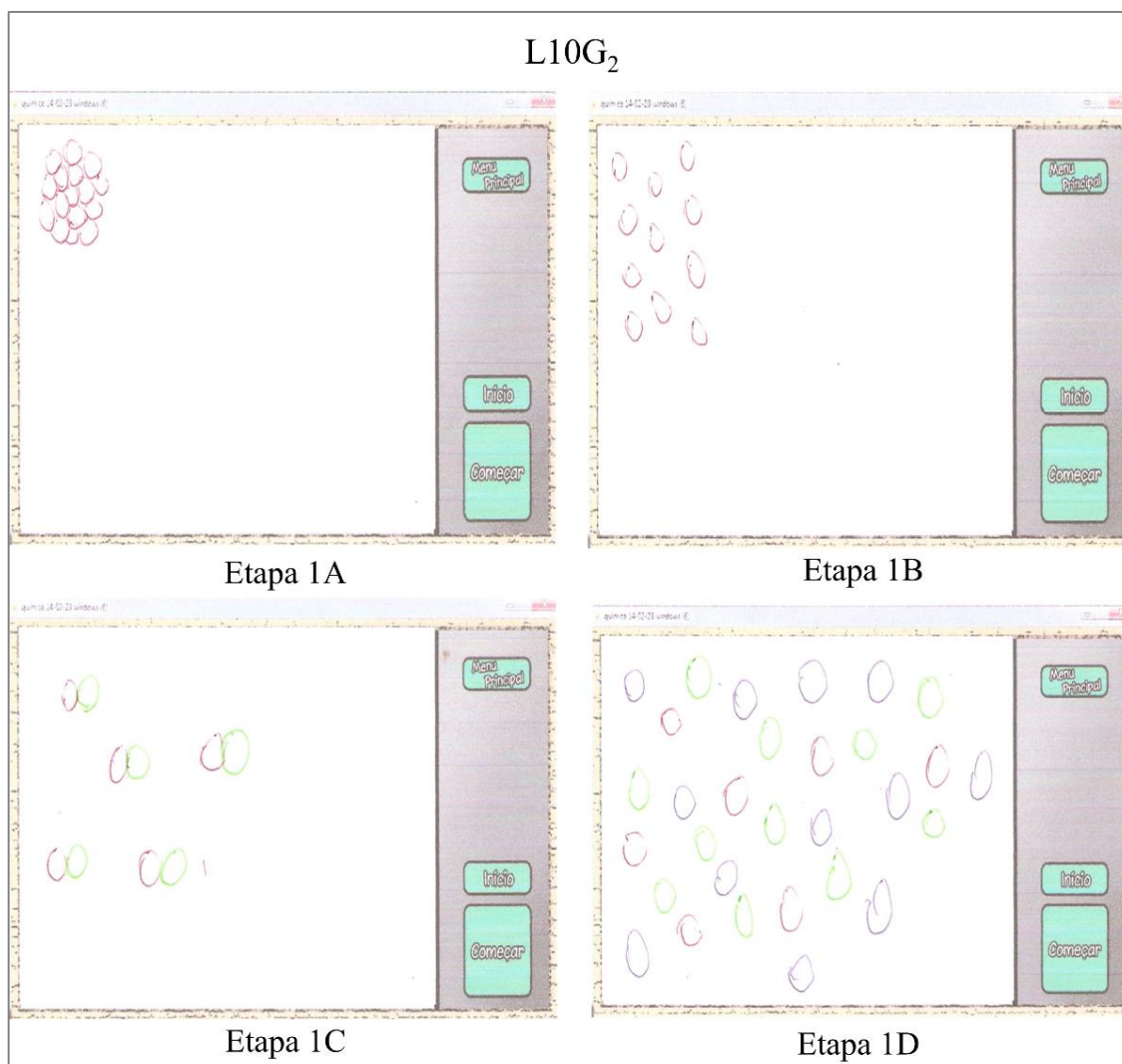
L9G₂: Que sempre as moléculas vão se movimentar, se chocar e sempre vai ocupar o espaço onde ela está, não importa a quantidade de moléculas, sempre vai tentar ocupar o espaço total. (Etapa 1C).

As aplicações das etapas foram importantes para verificarmos uma concepção de senso comum do conceito de aleatoriedade de L9G₂.

A seguir, apresentamos as análises e discussões dos dados obtidos com L10G₂.

No desenho 10 (etapas 1A, 1B, 1C e 1D), verificamos que L10G₂ não levou em consideração a quantidade de partículas, para prever e ilustrar suas trajetórias, pois no desenho 10, etapa 1A, há 16 partículas vermelhas aglomeradas no canto superior do lado esquerdo; na etapa 1B, 11 partículas vermelhas mais dispersas ao lado esquerdo na parte superior; na etapa 1C, 5 pares de partículas vermelhas com verdes distribuídas mais ao lado esquerdo; na etapa 1D, 07 partículas vermelhas, 11 verdes, 12 azuis.

Dado o exposto, o participante fugiu dos padrões 01, 02, 03 e 04, principalmente nas três primeiras etapas, as quais são improváveis de ocorrer no jogo, conforme podemos contatar nas simulações contidas nas figuras 12 a 23.

Desenho 10: Previsões de trajetórias de partículas de L10G₂ (etapas do jogo digital)

Fonte: Dados da pesquisa

Observamos que, depois de o participante ter observado as simulações do comportamento aleatório das partículas nas etapas 1A e 1B, pensou, refletiu, comparou e entendeu que suas previsões não foram como havia imaginado. É o que indicam suas respostas:

L10G₂: Vichiiii, elas estão dispersas. (Etapa 1A).

L10G₂: Não! (Risos). (Etapa 1B).

No desenho 10, etapa 1C, constatamos que L10G₂ ilustrou partículas em pares, mais ao lado esquerdo. Em seguida, a questionamos para explicar o que representava seu desenho e ele nos confirmou dizendo ser a formação de composto.

Depois, o participante, ao observar a simulação do comportamento aleatório das partículas, pôde constatar que suas previsões não foram como havia imaginado, conforme sua fala:

L10G₂: Não, (risos). (Etapa 1C).

Sendo assim, perguntamos o que ficou diferente na sua previsão de trajetórias com as que visualizou no sistema da etapa 1C. Perceba sua constatação:

L10G₂: Porque elas (falando das partículas) não estão se juntando. (Etapa 1C).

Este momento de aplicação da etapa 1C foi muito importante porque nos proporcionou verificar a evolução do participante quanto ao seu discurso.

Esta constatação refletiu na ilustração das partículas no desenho 10, etapa 1D, pois, mesmo tendo a presença de outra partícula de cor azul, notamos uma reestruturação na distribuição e ilustração das partículas.

Conforme Piaget (1987), percebemos que as experiências oportunizaram ao participante tanto resgatar seus esquemas prévios como elaborar novos, porque assimilou cada experiência a sua mente e as acomodou. Esse fato é confirmado na evolução de L10G₂ em representar as partículas no desenho 10, pois se aproximou de uma distribuição homogênea na etapa 1D.

Assim, L10G₂, ao analisar suas previsões de trajetórias na etapa 1D, percebeu e falou que elas foram com havia imaginado:

L10G₂: Ah, igual. (Etapa 1D).

Logo a seguir, ao questionarmos o participante se havia percebido alguma relação entre as etapas anteriores, nos revelou uma concepção de senso comum do conceito de aleatoriedade:

L10G₂: A quantidade, o espaço. (Etapa 1D).

L10G₂: Elas (falando das partículas) não se unem, ficam dispersas! (Etapa 1D).

Conforme Piaget (1987, 2012), concluímos que as aplicações das etapas foram importantes porque nos proporcionaram constatar que o participante foi construindo esquemas e os assimilando para construir o desenho 10. Além disso, incitou o participante a emitir palavras de senso comum, como ‘dispersas’ para explicar e entender o que vivenciou.

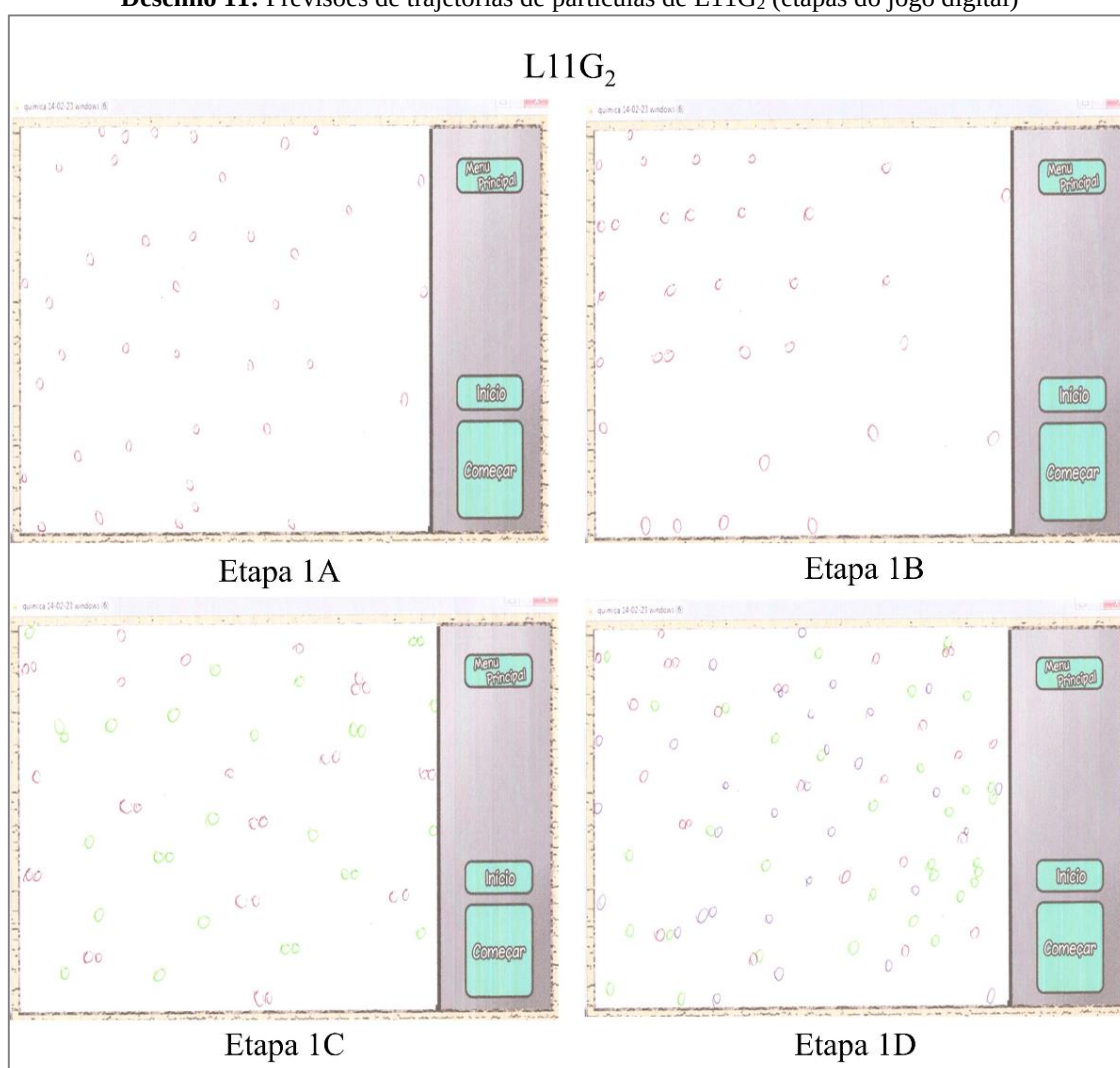
A seguir, apresentamos as análises e discussões dos dados obtidos com L11G₂.

No desenho 11 (etapas 1A, 1B, 1C e 1D), verificamos que L11G₂ não levou em consideração a quantidade de partículas, para prever e ilustrar suas trajetórias, pois no desenho 11, etapa 1A, há 39 partículas vermelhas; na etapa 1B, 32 partículas vermelhas representadas

mais ao lado esquerdo; na etapa 1C, 5 pares de partículas vermelhas com verdes distribuídas mais ao lado esquerdo; na etapa 1D, 29 partículas vermelhas (distribuídas em pares e trios), 28 partículas verdes e 33 verdes (distribuídas em pares e trios). Com isso, fugiu dos padrões 01, 02, 03 e 04, principalmente nas etapas 1A e 1B.

No desenho 11, etapas 1A e 1B, verificamos que o participante deixou espaços sem ilustrar trajetórias de partículas, portanto fugiu dos padrões 01 e 02. Assim, apesar de não ter se aproximado de uma distribuição homogênea no sistema, suas configurações são prováveis, conforme figuras 12 a 17.

Desenho 11: Previsões de trajetórias de partículas de L11G₂ (etapas do jogo digital)



Fonte: Dados da pesquisa

Com a visualização do comportamento aleatório das partículas, L11G₂ pôde observar, comparar e perceber que suas trajetórias no desenho 11, etapa 1A, foi como havia imaginado.

Mas, na etapa 1B, depois de certo tempo percebeu que as partículas ficaram desorganizadas. É o que notamos em suas falas:

L11G₂: Foi. (Etapa 1A).

L11G₂: No começo elas estavam mais organizadas. Depois, com o período elas foram se desorganizando. (Etapa 1B).

A distribuição das partículas, conforme figura 05, reflete a resposta de L11G₂, pois, na etapa 1A, as 35 partículas vermelhas estão distribuídas em desordem do lado esquerdo e, na etapa 1B, elas estão organizadas em fileiras do lado esquerdo. Portanto, para o participante, mesmo as partículas estando ‘organizadas’ na etapa 1B, revelou compreender que depois de certo tempo ficarão desorganizadas como na etapa 1A (FIG. 05.)

Apesar de L11G₂ não ter alcançado o padrão 03 no desenho 11, etapa 1C, verificamos, além de uma distribuição mais uniforme das partículas, presença de pares e trios entre as partículas que, segundo ele:

L11G₂: É, de movimento, elas começam meio organizado que estavam em linhas. E, depois, elas se expandem e elas tendem a ficar se agrupando, geralmente duas, aí depois solta, junta e bate. Entendeu? Só que agora você tem dois tipos. (Etapa 1C).

L11G₂: Parece que elas estão se conectando. Olha lá! Uma, duas, três, sei lá! Aí vem uma choca e solta.

Perante estas falas, podemos perceber que o participante levou em consideração os conhecimentos adquiridos nas etapas para ilustrar as trajetórias nos desenhos e explicar o que observou na simulação do comportamento das partículas, pois nas simulações ocorrem momentos nos quais as partículas se aproximam, chocam e mudam de posição.

No desenho 11, etapa 1D, a inserção de mais uma partícula de cor azul, não mudou a maneira de L11G₂ distribuir as partículas. Confirmamos isso em seu discurso quando respondeu o motivo de ter feito o desenho:

L11G₂: É porque eu reparei que elas vão se juntando, elas colam e batem. Entendeu? E, mesmo que elas sejam de cores diferentes, elas acabam fazendo esse movimento. (Etapa 1D).

Conforme Piaget (1987, 1974, 2012), constatamos a importância do contexto proposto nas etapas, uma vez que o participante criou esquemas para melhorar em seus desenhos as trajetórias de partículas e também em tentar entender o que explica. Certificamos essa realidade quando L11G₂ respondeu quais foram as relações percebidas entre as etapas:

L11G₂: Eu acho a relação é de choque entre as bolinhas que pode haver cargas, daí uma atrai a outra (falando das partículas). E só foi acrescentando outros tipos de cores, mas que não interfere, só muda a cor.

Até este momento de análise, podemos concluir que o participante possui um senso comum do conceito de aleatoriedade, mas carece de rever alguns de seus conceitos quanto ao assunto, pois revelou na última fala (etapa 1D) saberes os quais não condizem com a teoria cinética dos gases, como cargas entre as partículas.

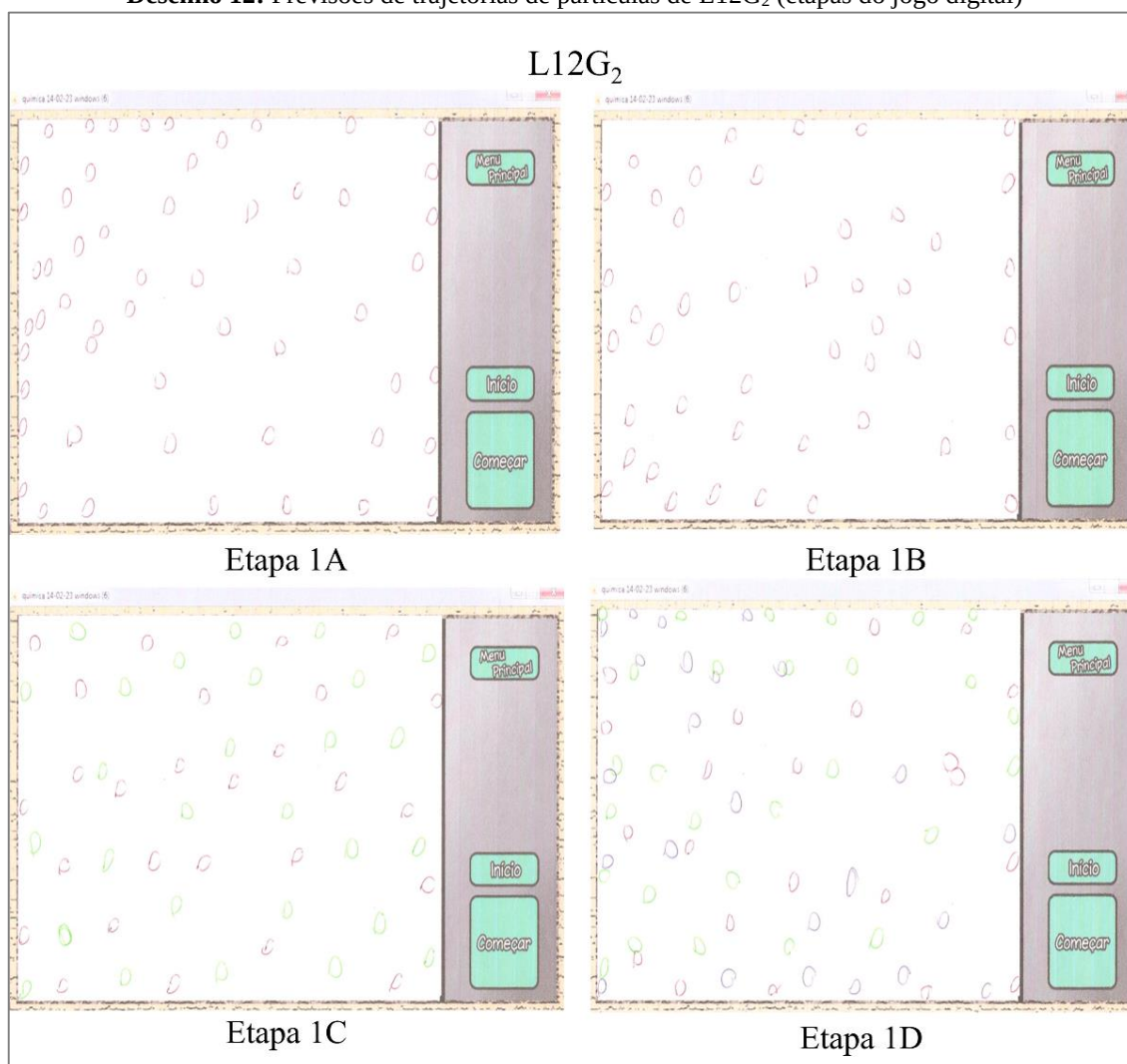
No desenho 10, L11G₂ buscou uma aproximação de distribuição homogênea das partículas, mesmo não tendo chegado nos padrões 01, 02, 03 e 04.

Além disso, conforme Piaget (1987), concluímos que as experiências obtidas nas etapas o levaram a ilustrar pares e trios de partículas nas etapas 1C e 1D, como podemos verificar diante de algumas simulações contidas nas figuras de 12 a 23. Infere-se que as previsões no desenho 10 são possíveis de acontecer.

A seguir, apresentamos as análises e discussões dos dados obtidos com L12G₂.

No desenho 12 (etapas 1A, 1B, 1C e 1D), verificamos que L12G₂ não levou em consideração a quantidade de partículas, para prever e ilustrar suas trajetórias, pois no desenho 12, etapa 1A, há 55 partículas vermelhas; na etapa 1B, 45 partículas vermelhas; na etapa 1C, esboçou 27 partículas vermelhas e 28 verdes; na etapa 1D, 28 partículas verdes, 24 azuis e 22 vermelhas, ilustrou alguns pares de partículas. Com isso, fugiu dos padrões 01, 02, 03 e 04.

Conforme desenho 12, percebemos que L12G₂, mesmo tendo deixado espaços livres sem desenhar esferas nas etapas 1A e 1B, manteve a maneira de ilustrar as trajetórias de partículas nas quatro etapas.

Desenho 12: Previsões de trajetórias de partículas de L12G₂ (etapas do jogo digital)

Fonte: Dados da pesquisa

As visualizações do comportamento aleatório das partículas nas quatro etapas proporcionaram ao participante perceber e manter suas concepções de que suas trajetórias foram como havia imaginado, pois manteve seus enunciados nas três primeiras etapas. E, na etapa 1D, explicou um pouco melhor, como indicam suas falas:

L12G₂: Sim, foi. (Etapa 1A).

L12G₂: Sim, foi. (Etapa 1B).

L12G₂: Sim, foi. (Etapa 1C).

L12G₂: Sim, depois de um tempo elas (falando das partículas) vão se espalhar. (Etapa 1D).

Na etapa 1D, o participante também revelou alguns saberes inerentes aos gases quando respondeu se havia percebido alguma relação entre as etapas. Observe sua fala:

L12G₂: A relação é que em todas as etapas o gás a partir do momento em que você o inicia as partículas tende a ocupar todo o espaço. (Etapa 1D).

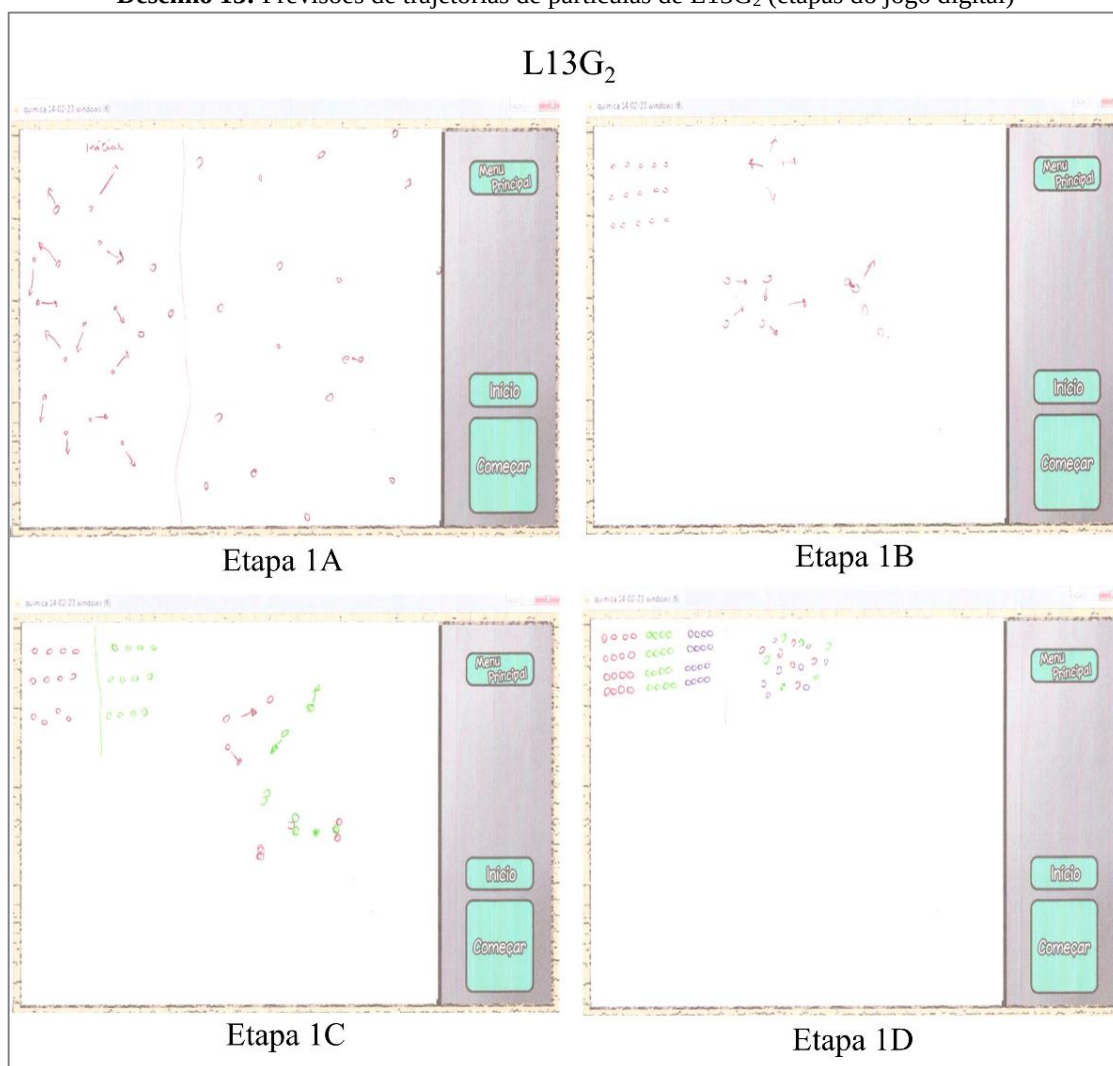
Diante das análises, verificamos que, apesar de o participante não ter alcançado os padrões 01, 02, 03 e 04, no desenho 12, buscou uma aproximação de distribuição homogênea das partículas no sistema. E suas previsões no desenho 12 são possíveis de ocorrer, pois as simulações mudam a todo tempo, como podemos conferir nas simulações contidas nas figuras de 12 a 23.

Até este momento, as aplicações das etapas construídas do jogo digital nos permitiram verificar nas falas de L12G₂ ideias de senso comum do conceito de aleatoriedade.

A seguir, apresentamos as análises e discussões dos dados obtidos com L13G₂.

No desenho 13 (etapas 1A, 1B, 1C e 1D), verificamos que L13G₂ não levou em consideração a quantidade de partículas, para prever e ilustrar suas trajetórias. Não alcançou os padrões 01, 02, 03 e 04, principalmente nas etapas 1A e 1B.

No desenho 13, etapa 1A, verificamos que, apesar de o participante não ter alcançado o padrão 01, L13G₂ ilustrou com uma linha no lado esquerdo, indicando com setas as trajetórias das partículas; na outra parte do desenho ilustrou 18 partículas vermelhas distribuídas próximas do que almejávamos, ou seja, homogênea.

Desenho 13: Previsões de trajetórias de partículas de L13G₂ (etapas do jogo digital)

Fonte: Dados da pesquisa

Em seguida, a simulação do comportamento aleatório das partículas na etapa 1A proporcionou a L13G₂ observar, comparar e responder que suas trajetórias foram como ele havia imaginado. Observe sua fala:

L13G₂: Foi o que eu imaginei. (Etapa 1A).

No desenho 13, etapa 1B, L13G₂ mudou a maneira de ilustrar as partículas, pois constatamos 15 partículas vermelhas no canto superior esquerdo, em 3 fileiras horizontais, cada uma com 5 partículas, ilustrou na parte superior próximo ao meio, 4 flechas e, mais abaixo, 08 partículas com setas. Contudo, ao ver a simulação do comportamento aleatório das partículas, respondeu que suas previsões foram mais ou menos como havia imaginado. Note sua fala:

L13G₂: É mais ou menos assim, é quase isso. (Etapa 1C).

Na sequência, perguntamos se o participante havia percebido alguma relação entre a etapa 1A e 1B para ter mudado a maneira de prever as trajetórias no desenho 13, etapa 1D. Observe sua resposta:

L13G₂: Nenhuma, a única coisa que difere da etapa 1A e da etapa 1B é a posição das moléculas só, mas o comportamento delas é a mesma, na minha concepção eu vejo como se fosse a mesma. (Etapa 1C).

Para o participante, a disposição das partículas nas etapas 1A e 1B (FIG. 05), as quais são distribuídas diferentemente, não interfere no comportamento das partículas.

No desenho 13, etapa 1D, verificamos que L13G₂ ilustrou no canto superior esquerdo 3 (três) fileiras horizontais, cada uma contendo 4 partículas vermelhas e 4 verdes, totalizando 12 de cada, ilustrou com setas no meio 3 vermelhas e 2 verdes, 1 par de partícula vermelha e 1 par de partícula verde, 1 trio com 2 verdes e 1 vermelha, 1 trio com 2 vermelhas e 1 verde. Nesse desenho, novamente L13G₂ indicou com setas as direções das trajetórias das partículas.

Para o participante, os pares e trios previstos seriam a interação entre as partículas, as ligações. Assim, após observar, analisar e comparar seu desenho com a simulação do comportamento das partículas na etapa 1C, pôde constatar que suas previsões não foram como havia imaginado. Sua resposta revela:

L13G₂: Não. Eu tentei, eu falei assim tipo, em base no que eles podiam acontecer ou não, né! E, acabou não acontecendo. Aí aconteceu aquilo que foi o primeiro exemplo lá, que as moléculas começaram a ocupar o volume inteiro do recipiente. Mas, assim, não foi como eu imaginei, eu achei que iria ter interação entre as moléculas, de ligações assim, e tudo mais. (Etapa 1C).

Podemos verificar que L13G₂ foi levando em consideração as experiências das etapas anteriores para construir o desenho 13, a etapa 1D; não esboçou pares nem trios de partículas, mesmo com a inserção de outra partícula de cor azul.

Assim, contamos no desenho 13, etapa 1D, 16 partículas vermelhas, 16 verdes e 16 azuis no canto superior esquerdo, em 4 fileiras horizontais, cada uma com 4 partículas. E ilustrou, próximo ao meio no canto superior, um aglomerado de 6 partículas verdes, 8 azuis e 6 vermelhas, não alcançando o padrão 04.

Em seguida, L13G₂, ao visualizar o comportamento aleatório das partículas, pôde analisar, refletir e comparar seu desenho, para nos revelar que suas trajetórias foram como ele havia imaginado:

L13G₂: Sim. Começa a ficar um negócio mais desordenado. (Etapa 1D).

Nesta fala da etapa 1D, notamos um discurso próximo do científico, pois empregou a palavra desordenado para elucidar um dos conceitos da teoria cinética dos gases, ou seja: “O

movimento molecular dentro do recipiente que contém a amostra é completamente aleatório, e todas as direções da velocidade são igualmente prováveis” (MAIA; BIANCHI, 2007, p. 160, grifo nosso). Assim, só precisa rever suas ideias apresentadas na etapa 1C.

Do mesmo modo, percebemos esta concepção de L13G₂ no desenho 13, pois, dentre os desenhos analisados até o momento, este foi o único em que observamos setas ilustradas junto às partículas para indicar as direções da velocidade das partículas no sistema.

E, apesar de não ter utilizado todo o papel para ilustrar as partículas, podemos averiguar no desenho 13, etapa 1A, uma busca da distribuição homogênea.

A partir da análise realizada com os participantes do grupo 02, podemos responder à primeira pergunta e concluir que os seis participantes também conseguiram ilustrar nos desenhos as partículas, seja a partir de seus esquemas prévios ou construindo novos, a partir de cada experiência vivida durante a aplicação das etapas.

Entretanto, constatamos que, assim como os participantes do grupo 01, os sujeitos do grupo 02 também não levaram em consideração a quantidade total de partículas contidas em cada etapa (FIG. 05) para ilustrar as trajetórias das partículas nos desenhos e não alcançaram os padrões 01, 02, 03 e 04.

Este fato pode ter ocorrido devido a alguns fatores já mencionados no grupo 01, como não entenderem a composição probabilística do sistema, porque os processos não podem ser assimilados dedutivamente (PIAGET, INHELDER, 1951).

Outro dado constatado foi que a metade dos participantes, L9G₂, L11G₂ e L12G₂, buscou uma aproximação de distribuição homogênea das partículas em todas as etapas. E a outra metade em algumas etapas como, por exemplo: L8G₁, somente na etapa 1C, L10G₂, na etapa 1D e L13G₂ apenas na etapa 1A.

Além disso, observamos que L8G₂, L10G₂, L13G₂ representaram pares de partículas nos desenhos da etapa 1C. Para L8G₂, os pares são as atrações que ocorrem entre as partículas; manteve essa ideia no desenho e discursos da etapa 1D. Mas L10G₂, L13G₂ romperam com essa visão, ao reelaborar seus desenhos e discursos na etapa 1D.

Até este momento, verificamos que a maioria (cinco) dos participantes do grupo 02 possui uma concepção de senso comum do conceito de aleatoriedade; apenas L13G₂ revelou uma concepção mais próxima da científica.

A partir das análises realizadas com os grupos 01 e 02, podemos concluir que L1G₁, L3G₁, L9G₂ e L10G₂ alcançaram uma aproximação de distribuição homogênea do sistema somente na etapa 1D, L2G₁ nas etapas 1B e 1D, L4G₁ nas etapas 1C e 1D. Apenas L6G₁

manteve seus esquemas prévios, porque representou uma aproximação de distribuição homogênea do sistema em todas as etapas.

A seguir, apresentamos as análises e discussões dos dados obtidos nas entrevistas semiestruturadas junto aos participantes do grupo 01, 02 e 03 durante a aplicação das etapas e níveis do jogo digital.

6.3 CONCEITO DE IRREVERSIBILIDADE: ANÁLISE DAS ENTREVISTAS (ETAPAS DO JOGO DIGITAL)

Nesse terceiro momento, buscamos, nas respostas obtidas nas entrevistas semiestruturadas realizadas com os grupos 01 e 02, responder a segunda questão de pesquisa: *Os (as) participantes conseguem expor e compreender o conceito de irreversibilidade presente na Teoria Cinética dos Gases, durante o contexto proposto nas etapas construídas para um jogo digital?*

As respostas à pergunta acima foram norteadas pela questão de número 05 (*O sistema pode voltar como era no início, antes de apertarmos o botão começar? Alguma parte do sistema pode voltar como era antes? Por que não volta?*) (Apêndice 05).

É importante elucidar que, quando efetuamos esta pergunta, os (as) participantes já haviam presenciado a simulação do movimento aleatório das partículas no sistema proposto em cada etapa construída para o jogo digital. Por isso, poderiam construir esquemas e assimilá-los para pensar, refletir e reelaborar suas concepções.

Nesse contexto, de acordo com a fundamentação teórica da pesquisa, iniciamos as análises e discussões com os participantes do grupo 01, seguidos do grupo 02.

6.3.1 Grupo 01: Conceito de irreversibilidade – etapas do jogo digital

As análises e discussões de cada unidade de registro foram realizadas individualmente, seguindo a ordem das etapas do jogo digital. Para isso, as organizamos, conforme os grupos, em quadros distintos. Seguem, no quadro 29, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro dos participantes do grupo 01. Para não ocasionar repetições no texto, esclarecemos que as análises partem deste quadro.

Quadro 29: Grupo 01: Categoria, subcategorias e unidades de registro (etapas do jogo digital)

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO			
		Etapa 1A	Etapa 1B	Etapa 1C	Etapa 1D
CONCEITO DE IRREVERSIBILIDADE	Discurso próximo do gênero científico	L3G ₁	L4G ₁	L4G ₁ L6G ₁ L7G ₁	L4G ₁ L6G ₁ L7G ₁
	Discurso de senso comum	L6G ₁ L7G ₁	L6G ₁ L7G ₁	L3G ₁	L2G ₁ L3G ₁
	Discurso não elucidativo	L1G ₁ L2G ₁ L4G ₁ L5G ₁	L1G ₁ L2G ₁ L3G ₁ L5G ₁	L1G ₁ L2G ₁ L5G ₁	L1G ₁ L5G ₁

Fonte: Dados da pesquisa

De acordo com o quadro 29, L1G₁ se manteve na subcategoria *discurso não elucidativo*, porque não verificamos em suas respostas palavras que revelassem seu entendimento quanto ao conceito de irreversibilidade. Suas falas indicam isso, ao responder se o sistema voltaria e por que não voltaria, como visualizado no início:

L1G₁: Não, nunca. Eu acho que por causa daquela lei de ação e reação, acho que elas (falando das partículas) vão ficar batendo em constante movimento. (Etapa 1A).

L1G₁: Eu acho que não. (Etapa 1B).

L1G₁: Eu acho que não. (Etapa 1C).

L1G₁: Não ela (falando das partículas) não volta assim. (Etapa 1D).

L1G₁: Igual antes nunca vai voltar igualzinho assim com esse vermelhinho, azulzinho e verde não. (Etapa 1D).

Percebemos ainda nas falas de L1G₁ outros saberes os quais não condizem com o assunto investigado, por exemplo, na etapa 1A, revelou entender que o sistema não volta como no início por causa da lei de ação e reação. Consequentemente, este participante necessita apreender a respeito da irreversibilidade presente na teoria cinética dos gases.

Também não verificamos nas respostas de L2G₁ um entendimento do conceito de irreversibilidade, pois suas falas, ao responder se o sistema voltaria e por que não voltaria, como visualizado no início, não elucidam o assunto. Observe suas falas:

L2G₁: Não sei, eu acho que não vai voltar. Só se alguma coisa interferir. Não sei! (Etapa 1A).

L2G₁: Não. (Etapa 1B).

L2G₁: Por que é difícil, por mais que você as congele, sei lá, se der um jeito de congelar elas, elas não vão estar na mesma posição, elas vão estar cada uma em um lado, acho se elas voltarem ao estado sólido ficaria sim. Não sei! (Etapa 1B).

L2G₁: Eu acho que não. (Etapa 1C).

L2G₁: É difícil separar elas, vai ter que mexer em mais alguma coisa, não sei. Não sei, eu estou perdida! (Etapa 1C).

Diante das falas, percebemos que L2G₁ atribuiu outros conceitos para entender e explicar como o sistema poderia voltar, como a interferência de alguma coisa, congelar as partículas, voltar as partículas ao estado sólido.

Até este momento, o contexto vivenciado pela participante foi importante porque lhe permitiu pensar, refletir e expor suas ideias, mesmo que errôneas, quanto à irreversibilidade do sistema. Podemos confirmar este fato na reposta da etapa 1D:

L2G₁: Acho que não porque elas vão ficar continuamente assim nesse movimento. (Etapa 1D).

L2G₁: Então acho que seria muito difícil de voltar porque como os gases não têm nem afinidade entre si, tipo eles não se juntam um com o outro, então fica mais difícil de colocar eles assim certinho, em ordem. (Etapa 1D).

L2G₁ revelou na fala acima, saberes de senso comum para explicar a irreversibilidade das partículas no sistema, como dificuldade em colocá-las em ordem porque não tem afinidade entre si, não se juntam. Portanto, carece de reelaborar e apreender o assunto investigado.

Conforme quadro 29, nos discursos de L3G₁ constatamos apenas na etapa 1A uma aproximação do gênero científico de irreversibilidade e, nas etapas 1C e 1D, a utilização de palavras as quais revelam um senso comum do assunto; na etapa 1B, não elucidou. Assim indica suas falas:

L3G₁: Ele (falando dos gases) vai continuar naquele movimento aleatório. Voltar assim no início, eu não vejo nenhuma razão para voltar. (Etapa 1A).

L3G₁: Ah, eu acho que não! (Etapa 1B).

L3G₁: Eu acho que não. (Etapa 1C).

L3G₁: Ordenado assim, não. Acho difícil. (Etapa 1C).

L3G₁: Também não. (Etapa 1D).

L3G₁: Ah, eu acho que não porque elas vão continuar o movimento. Só se mudar a temperatura, mudar alguma coisa que vai a fazer ficar estática. Mas, normal assim, não. Vai continuar em movimento. (Etapa 1D).

Nos discursos acima, L3G₁ revelou possuir alguma noção do conceito de irreversibilidade, pois falou do movimento aleatório o qual alude para o comportamento irreversível do sistema, mas não citou a questão da probabilidade. Portanto carece de reelaborar melhor suas ideias para apreender cientificamente.

Conforme quadro 29, nos discursos de L4G₁, constatamos um pensar e refletir para tentar entender e explicar se o sistema voltaria ao estado inicial, mas ainda não conseguiu elucidar o assunto. É o que indicam suas falas:

L4G₁: Não! Só se, não sei só se forçar com alguma coisa. Mas, assim eu acho que não. (Etapa 1A).

L4G₁: Por exemplo, se elas estivessem tudo dentro de uma caixinha antes, no começo. Daí a gente abrisse elas se soltassem, aí depois tivesse algum fator que comprimisse elas de novo tudo dentro da caixinha sim. Mas aí não, porque parece que ela está meio aberta dentro do sistema. (Etapa 1A).

Assim, na etapa 1B, a participante revelou um discurso próximo do científico ao averiguarmos a utilização de termos que aludem para a irreversibilidade do sistema. Confirmamos este fato na terceira resposta:

L4G₁: Eu acho que não. (Etapa 1B).

L4G₁: Igual eu falei, me parece que elas estavam meio soltas assim no sistema, mas, ordenadas e não comprimidas, algo assim. (Etapa 1B).

L4G₁: Que elas têm o mesmo movimento descontínuo, elas se chocam entre si, mas não.... Não me lembro como chama! Tem o choque efetivo né? Só o choque elástico que elas se chocam e se distanciam entre elas e entre as paredes. (Etapa 1B).

O tipo de choque que ocorrem entre as moléculas de gases no modelo cinético dos gases é do tipo elástico onde a energia cinética total entre duas partículas é a mesma antes e depois da colisão (CASTELLAN, 2001). Este saber foi revelado na fala de L4G₁.

Assim, L4G₁ revelou um discurso próximo do gênero científico quanto à irreversibilidade do sistema porque nas colisões elásticas “[...] não há troca de energia entre as moléculas ou entre estas e as paredes do recipiente que contém a amostra gasosa) (MAIA; BIANCHI, 2007, p. 160)”. Portanto, “[...] o movimento molecular dentro do recipiente que contém a amostra é completamente aleatório, e todas as direções da velocidade são igualmente prováveis (MAIA; BIANCHI, 2007, p. 160)”.

Nas etapas 1C e 1D, outra vez verificamos saberes próximos do gênero científico nas respostas da participante quanto à irreversibilidade do sistema. Confira em suas falas:

L4G₁: Meio difícil hein. Ainda mais que tem duas moléculas, sei lá, dois gases diferentes. (Etapa 1C).

L4G₁: Porque agora é mais uma cor de bolinhas, tem mais bolinhas. Daí é mais difícil voltar o sistema inicial. (Etapa 1D).

Nas falas acima, apesar de L4G₁ não ter reportado a probabilidade de o sistema voltar como no início, nos revelou outros fatores que dificultam as partículas voltarem à configuração inicial, como a inserção de outra partícula no sistema e o aumento de sua quantidade. Assim, estes dois fatores aumentam o número de variáveis, dificultando a obtenção do sistema à configuração inicial.

Conforme quadro 29, L5G₁ se manteve na subcategoria *discurso não elucidativo* nas quatro etapas do jogo digital, porque não verificamos em suas respostas palavras que

revelassem seu entendimento do conceito de irreversibilidade. Suas falas confirmam, ao responder se o sistema voltaria e por que não voltaria ao estado inicial:

L5G₁: Não. (Etapa 1A).

L5G₁: Porque é gás né, ele não se desfaz. (Etapa 1A).

L5G₁: Ah, por se tratar de gases, eu acho que não. Mas, por se tratar de jogo pode ser. (Etapa 1B).

L5G₁: Não. Em se tratando de jogo volta porque alguém vai começar de novo. (Etapa 1C).

L5G₁: Se tratando de um jogo sim, deve voltar. Mas, se tratando dos gases, creio que não! (Etapa 1D).

Assim, na aplicação das etapas, verificamos que a participante atentou mais para as regras do jogo, a fim de explicar e falar o que observou na simulação do comportamento aleatório das partículas no sistema.

Conforme quadro 29, nos discursos de L6G₁ observamos, nas expressões das falas, um pensar e refletir para tentar entender e explicar se o sistema voltaria ao estado inicial, mas ainda não conseguiu elucidar o assunto. Veja:

L6G₁: Não! (Etapa 1A).

L6G₁: Não. Só se for ao zero absoluto e olha lá. Na hora em que parar, mas se parar, de qualquer maneira o gás já se expandiu. (Etapa 1A).

L6G₁: Menos ainda, (risos). (Etapa 1B).

L6G₁: Não, pode bater a cabeça a vontade, pode ficar cinquenta milhões de anos, eu acho que não volta tão cedo, (risos). (Etapa 1B).

Assim, L6G₁ revelou um discurso de senso comum ao utilizar outras expressões para explicar a irreversibilidade do sistema, como expansão do gás e ‘bater a cabeça’ para fazer o sistema voltar como no início.

Contudo averiguamos discursos de L6G₁ próximos do gênero científico nas etapas 1C e 1D. Observe suas respostas:

L6G₁: Menos ainda, (risos). Não tem condições! (Etapa 1C).

L6G₁: Agora eu quero ver você “desmisturar”, porque dois gases para separar os dois vão ser complicados! Já imagina esse estado bonitinho assim! (Etapa 1C).

L6G₁: Não. Vai continuar a desordem, (risos). (Etapa 1C).

L6G₁: Não. (Risos). Nem a “pau”. Não separa, não separa. (Etapa 1D).

L6G₁: (Risos), nem a primeira volta e esse menos ainda. Como eu vou separar os três gases!?! (Etapa 1D).

L6G₁: (Risos), só se eu parar o tempo e pegar cada molécula e ir colocando, (risos). (Etapa 1D).

Podemos notar nas falas de L6G₁ atribuições à irreversibilidade do sistema a dois fatores, como também apresentou L4G₁, a inserção de outras partículas no sistema e o aumento

de sua quantidade. Percebe-se que, compreendeu que o aumento do número de variáveis dificulta notoriamente o sistema voltar como no início.

Conforme quadro 29, nos discursos de L7G₁ verificamos palavras de senso comum para explicar a irreversibilidade do sistema, como “disperso”, “espalhadas”. Confira suas falas:

L7G₁: Ah, eu acho muito difícil, porque ele (falando do sistema) já está todo disperso. (Etapa 1A).

L7G₁: Ah, porque elas (falando das partículas) já estão muito espalhadas é muito complicado, precisaria de uma força, algo muito maior para fazê-la voltar como ela estava no início. (Etapa 1A).

L7G₁: Não. Organizadinhas assim, eu acho que não. (Etapa 1B).

L7G₁: Ah porque elas já estão dispersas no ambiente. (Etapa 1B).

Nas falas de L7G₁, também observamos outros saberes os quais não condizem com o assunto investigado, pois, para ela, precisaria de uma ‘força’, algo muito maior para que o sistema voltasse como no início.

Nos discursos das etapas 1C e 1D, L7G₁, também atribuiu a inserção de outras partículas no sistema e o aumento de sua quantidade como dificuldade para se obter as partículas como no início do sistema. Perceba em suas falas:

L7G₁: Esse daí já é muito mais difícil de voltar do que os outros. Até porque eu tenho duas coisas. (Etapa 1C).

L7G₁: Ah, porque já está tudo misturado, não tem como você saber o que é o que! (Etapa 1C).

L7G₁: Difícilmente. (Etapa 1D).

L7G₁: Ah, porque tem três cores diferentes. Se no primeiro já era difícil, e eu só tinha uma coisa no ar! Imagina nesse que tem três coisas! Pois, quanto maior a quantidade de gás diferente, pior para trazer eles para o primeiro estado, o estado inicial. (Etapa 1D).

Apesar de L7G₁ não ter reportado à probabilidade de o sistema voltar como no início, revelou um discurso próximo do gênero científico nas falas das etapas 1C e 1D. Portanto, necessita reelaborar melhor suas ideias quanto ao conceito científico de irreversibilidade.

Seguimos com as análises e discussões com os participantes do grupo 02.

6.3.2 Grupo 02: Conceito de irreversibilidade – etapas do jogo digital

Nesse item, apresentamos as análises e discussões de cada unidade de registro com os participantes do grupo 02. Seguem, no quadro 30, as subcategorias juntamente com as unidades de registro de cada participante. Para não ocasionar repetições no texto, esclarecemos que as análises partem deste quadro.

Quadro 30: Grupo 02: categoria, subcategorias e unidades de registro (etapas do jogo digital)

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO			
		Etapa 1A	Etapa 1B	Etapa 1C	Etapa 1D
CONCEITO DE IRREVERSIBILIDADE	Discurso de gênero científico	L11G ₂	L11G ₂	L11G ₂	L11G ₂
	Discurso de senso comum	--	L9G ₂	L13G ₂	L13G ₂
	Discurso não elucidativo	L8G ₂ L9G ₂ L10G ₂ L12G ₂ L13G ₂	L8G ₂ L10G ₂ L12G ₂ L13G ₂	L8G ₂ L9G ₂ L10G ₂ L12G ₂	L8G ₂ L9G ₂ L10G ₂ L12G ₂

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 30, L8G₂ se manteve na subcategoria *discurso não elucidativo*, porque não verificamos em suas respostas palavras as quais revelassem seu entendimento do conceito de irreversibilidade. Perceba em suas falas:

L8G₂: Ah, em cinética vai depender da velocidade. Não sei se volta como elas eram. Uma hora ou outra vai entrar em equilíbrio. Mas, eu não sei! (Etapa 1A).

L8G₂: Não sei. Silêncio. (Etapa 1B).

L8G₂: Não sei. (Etapa 1C).

L8G₂: Ah, acho que sim. (Etapa 1D).

L8G₂: Silêncio. (Etapa 1D).

Diante do exposto, não constatamos durante o contexto de aplicação das etapas uma concepção científica de L8G₂ quanto à irreversibilidade do sistema.

Na análise do quadro 30, observamos que L9G₂ se manteve na subcategoria *discurso não elucidativo* na aplicação das três etapas (1A, 1C, 1D), ao responder se as partículas voltariam como no início. Isso pode ser constatado em suas falas:

L9G₂: Não. (Etapa 1A).

L9G₂: Depois que iniciou eu acho que não. (Etapa 1A).

L9G₂: Não! (Etapa 1C).

L9G₂: Não. (Etapa 1D).

L9G₂: Já fica mais difícil por causa dos gases. (Etapa 1D).

Contudo averiguamos, somente na fala de L9G₂, na etapa 1B, um discurso de senso comum, porque atribuiu aos conteúdos de entropia e mistura das partículas as responsáveis pelo sistema não voltar como no início. Veja:

L9G₂: Não. (Etapa 1B).

L9G₂: (Risos), acho que não porque entra a parte da entropia, né? (Risos), eu acho que é impossível ficar assim. Se for considerar um gás! Isso seria mais para líquido, tudo certinho. Mas, como vai tudo misturar não vai voltar. (Etapa 1B).

Assim, o discurso revela a necessidade de L9G₂ reelaborar suas ideias de senso comum, para apreender cientificamente o conceito de irreversibilidade.

Do mesmo modo, verificamos que L10G₂ não soube explicar se sistema voltaria como no início e porque não voltaria a se organizar, pois se manteve na subcategoria discurso de senso comum, conforme o quadro 30. Isso pode ser constatado em suas falas:

L10G₂: Não. Eu acho que não. (Etapa 1A).

L10G₂: Não sei, professora. (Etapa 1A).

L10G₂: Não sei, (risos). (Etapa 1B).

L10G₂: (Risos), Nossa! Coisa do ensino médio! Não sei mesmo, professora, porque não volta! (Etapa 1B).

L10G₂: Eu acho que não. (Etapa 1C).

L10G₂: Não sei! (Etapa 1C).

L10G₂: Não. (Etapa 1D).

L10G₂: Elas estão dispersas. Não sei. (Etapa 1D).

Averiguamos discursos não elucidativos de L10G₂ para explicar à irreversibilidade das partículas no sistema. Um dado importante percebido foi que os contextos de aplicação das etapas proporcionaram ao participante criar esquemas e assimilá-los para poder entender e explicar o que fala, pois, na resposta da etapa 1D, empregou o termo ‘dispersas’ para se referir ao fato das partículas não voltarem como no início. Mas se manteve no discurso de senso comum porque, logo em seguida, respondeu não saber o motivo para tal fato. Nota-se que o participante carece de apreender o conceito de irreversibilidade.

De maneira contrária, averiguamos que L11G₂ se manteve na subcategoria discurso de gênero científico (quadro 30), porque verificamos em todos os seus discursos o emprego da palavra *probabilidade* para responder à pergunta se o sistema poderia voltar como no início; porque não volta. É importante ressaltar que somente este participante se manteve nesta subcategoria. Este fato pode ser confirmando em suas respostas:

L11G₂: A probabilidade é muito pequena. Eu não posso falar que não vai ter, mas é muito difícil. (Etapa 1A).

L11G₂: Porque elas precisariam estar todas nos mesmos lugares. Então, a probabilidade é muito pequena delas ficarem todas, porque cada uma vai estar de um lado. Cada uma vai se chocar e ir para um lado. (Etapa 1A).

L11G₂: Muito raro. Eu não falo que não, porque a probabilidade é pequena, há uma probabilidade de um em um milhão. Mas eu acredito que não. (Etapa 1B).

L11G₂: Igual eu falei, a probabilidade pode ocorrer! Mas é muito difícil, eu acredito que não. É uma em tantos por centos, é muito grande a porcentagem de ocorrer isso. Então, eu acredito que não. (Etapa 1C).

L11G₂: Muito difícil. Acho que não. Eu não descarto. Mas eu acho que não, a probabilidade é quase zero. (Etapa 1D).

L11G₂: Porque a organização não depende delas. Então quanto maior o número de elementos que você utiliza, por exemplo, num dado, maior aumenta a probabilidade, é estatística, né. Aí, é o maior momento de se chegar a um determinado número. Não é que seja impossível, pode ser que o momento ocorra. Mas é maior a chance de não ocorrer. (Etapa 1D).

Nessas falas de L11G₂, observamos que, além de ter utilizado o termo probabilidade para se referir à irreversibilidade do sistema, explicou também na etapa 1D a respeito das variáveis que dificultam as partículas voltarem como no início.

Ao averiguarmos o quadro 28, notamos que L11G₂ cursava o 5º período da licenciatura em química, concluiu as disciplinas de cálculo diferencial e integral 1 e 2, química geral, física 2 e 3 e, no momento, estava cursando física 1, probabilidade e estatística. Esse fato pode ter contribuído para que o participante compreendesse o assunto investigado.

Perante o evidenciando, percebemos a importância de estar bem consolidado cientificamente o conceito de probabilidade para poder apreender e entender o assunto de irreversibilidade presente na teoria cinética dos gases.

O participante L12G₂ se manteve na subcategoria discurso não elucidativo (quadro 30), porque verificamos em todas as suas respostas incertezas e palavras ‘não sei’ quanto às partículas voltarem como no início; porque não volta. As falas abaixo comprovam tal fato:

L12G₂: Não sei, acho que não. (Etapa 1A).

L12G₂: A não ser se você mexer alguma força externa, eu não tenho ideia. (Etapa 1A).

L12G₂: Não, em nenhum momento. (Etapa 1B).

L12G₂: Eu não tenho ideia. (Etapa 1B).

L12G₂: Eu acho que não. (Etapa 1C).

L12G₂: Não sei! (Etapa 1C).

L12G₂: Eu acho que também não. (Etapa 1D).

L12G₂: Não tenho nem uma ideia assim delas voltarem ao estado inicial. (Etapa 1D).

Ao averiguarmos o quadro 28, verificamos que L12G₂ está no 6º período do curso e já cursou as disciplinas de cálculo diferencial e integral 1 e 2, química geral, física 1, 2 e 3, físico-química 1, probabilidade e estatística e, no momento, estava cursando físico-química 2. No entanto, não foi possível constatar, durante o contexto de aplicação das etapas uma concepção científica de L12G₂ do conceito investigado. Há a necessidade de o participante apreender o conceito de irreversibilidade.

Segundo o quadro 30, etapa 1A, observamos que L13G₂ buscou em seus pensamentos reflexões, para tentar entender e explicar se o sistema voltaria ao estado inicial, mas apresentou saberes que não elucidam o assunto investigado. Isso pode ser constatado nas falas transcritas:

L13G₂: Não. (Etapa 1A).

L3G₂: Somente se acabar a energia do sistema no caso, quando as moléculas pararem com a atividade delas, mas isso é muito improvável que aconteça, só se a energia das moléculas se tornarem quase zero. (Etapa 1A).

Na etapa 1B, verificamos um discurso de senso comum nas falas de L13G₂, e também percebemos a sua dificuldade em tentar entender e explicar por que o sistema não volta como no início, conforme destaca sua resposta:

L13G₂: Não, também eu acho que não, por causa também conforme essas colisões vão acontecendo vai tendo uma perda de energia com as colisões; assim como as moléculas ocupam todo o volume do espaço, é muito difícil ela ficar concentrada em uma parte só do espaço; a tendência delas é continuar se movendo dentro daquele espaço, eu acho isso. (Etapa 1B).

Na resposta de L13G₂, etapa 1B, verificamos, além da utilização de palavras de senso comum (colisões, volume, espaço, concentrada, movendo) para explicar por que o sistema não volta como no início, saberes que não condizem com a irreversibilidade, como perda de energia com as colisões. Assim, para entendermos o que seria essa perda de energia, realizamos duas perguntas para L13G₂: *Então, depois de certo tempo ela vai perder energia? Essa perda de energia, você acha que vai acarretar em quê?* Veja as respostas, consecutivas:

L13G₂: Sim, ela vai começar a perder energia, mas ela não vai cessar, ela vai continuar naquele movimento dela. (Etapa 1B).

L13G₂: Assim, tipo, é uma perda de energia que eu digo assim, no sistema em si não vai perder energia. Mas, por exemplo, uma molécula que estava parada e outra que estava acelerando, aí elas colidem; essa que estava parada vai ganhar velocidade e essa aqui que vai perder, entendeu? Mas, assim, a energia ainda vai continuar a mesma, aí vai acontecendo essa interação entre as moléculas. (Etapa 1B).

Nas respostas da etapa 1B, L13G₂ evoluiu ao explicar melhor sua concepção de perda de energia, mas ainda precisa reelaborar suas ideias, pois, segundo a teoria cinética dos gases, “o valor da soma das quantidades de energia cinética de duas moléculas antes e depois da colisão é o mesmo, embora as parcelas de energia sejam redistribuídas entre elas. **(As colisões são elásticas,** isto é, não há troca de energia entre as moléculas” (MAIA; BIANCHI, 2007, p. 160, grifo nosso).

Nos discursos da etapa 1C, L13G₂ apresentou a subcategoria discurso não elucidativo porque não verificamos o emprego de termos que expliquem a irreversibilidade do sistema. Como indica sua fala:

L13G₂: Não. Também acho que não. Muito difícil. (Etapa 1C).

L13G₂: Por causa da tendência delas, que é se movimentar e tudo mais. É como eu falei: ela não vai ficar presa em um determinado espaço, naquele volume. Ela vai querer se movimentar. (Etapa 1C).

Na etapa 1D, averiguamos uma evolução nas respostas de L13G₂ à pergunta se o sistema voltaria como era no início; por que não volta, pois se aproximou da categoria discurso de gênero científico, conforme transcrição:

L13G₂: Não. Também não. (Etapa 1D).

L13G₂: Por causa do nível de interação das moléculas, assim no quesito das colisões e tudo mais. Vai ficar tudo desordenado. Então assim, não terá como, por causa das vibrações das moléculas, elas vão ficar muito espalhadas; a tendência delas é ocupar, se espalhar por tudo, sem ficar presa em um espaço e tudo mais. Diferente de um líquido, né!? Que o líquido as atividades das moléculas são menores, então elas até poderiam voltar. Mas, como está se tratando de um gás, a vibração das moléculas é maior, então a tendência delas é começar a se espalhar mais. Então não teria essa volta assim para o estado inicial. (Etapa 1D).

Na fala da etapa 1D, o participante apresentou palavras que remetem ao conceito de irreversibilidade (“desordenado”), também revelou outros saberes, como: “vibrações das moléculas, tendência em ocupar todo o espaço”.

Concluimos que L13G₂ precisa reelaborar melhor suas ideias para apreender cientificamente o conceito de irreversibilidade segundo a teoria cinética dos gases, uma vez que não constatamos em seus discursos concepções quanto à probabilidade, às variáveis presentes no contexto proposto, ou seja, à inserção de outras partículas e ao aumento do número de partículas no sistema.

Ao analisar as unidades de registro dos quadros 29 e 30, podemos verificar que apenas um participante do grupo 02, o L12G₂, revelou a subcategoria discurso de gênero científico.

No entanto, no grupo 02, não observamos a subcategoria discurso próximo do gênero científico. De modo contrário, conferimos isso no grupo 01, com os participantes L3G₂, L4G₂, L6G₂ e L7G₂.

Tendo em vista os dados analisados na categoria, conceito de irreversibilidade, percebemos que os participantes do grupo 01 se sobressaíram ao grupo 02, porque a maioria deles (cinco) apresentou, em algum contexto de aplicação das etapas, a subcategoria discurso próximo do gênero científico para explicar o conceito de irreversibilidade. Esse fato pode ter ocorrido devido a alguns fatores, tais como: o grupo 01 ter participado de todos os momentos da coleta de dados na pesquisa ou de alguns dos dados contidos no quadro 28. Por exemplo: L3G₁ na etapa 1A; L4G₁ nas etapas 1A, 1C e 1D; L6G₁ e L7G₁ nas etapas 1C e 1D. No grupo 02, não emergiu esta subcategoria.

Além disso, no quadro 28 também consta que a participante L4G₁ cursava a disciplina de probabilidade e estatística, portanto pode ter contribuído para sua permanência na subcategoria discurso próximo do gênero científico em três etapas.

Conforme o quadro 28, percebemos que a metade dos participantes do grupo 02 (L8G₂, L9G₂ e L12G₂) cursavam o 6º período do curso de licenciatura em química e já haviam concluído a disciplina de probabilidade e estatística. Com isso, esperávamos que a maioria se aproximasse de um discurso científico.

No entanto, somente L11G₂ apresentou tal categoria. Conforme o quadro 28, grupo 02, verificamos que somente este participante estava cursando física 1, probabilidade e estatística. Fato que pode ter contribuído para este participante elucidar o conceito investigado.

Concluimos que os contextos propostos nas etapas construídas do jogo foram importantes porque proporcionou verificar, conforme o quadro 19, que, dentre os 13 participantes, 05 (cinco) não elucidaram o conceito de irreversibilidade e 03 (três), em algum momento das etapas, ora não elucidaram e ora utilizaram palavras de senso comum na investigação do assunto.

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 1998, p. 52), também constatamos a importância de o aluno apreender probabilidade, a fim de compreender “[...] que muitos dos acontecimentos do cotidiano são de natureza aleatória e que se podem identificar possíveis resultados desses acontecimentos e até estimar o grau da possibilidade acerca do resultado de um deles”.

Assim, entendemos que os doze participantes podem ter utilizados esquemas construídos ao longo de sua vivência de processos irreversíveis, nos quais ainda não se presenciou a sua reversibilidade, tais como: leite derramado na leiteira, copo quebrado, bexiga estourada, cabelo queimado. Por isso, nem sequer imaginaram ou utilizaram a palavra probabilidade para explicar o conceito de irreversibilidade.

Diante da realidade, entendemos a importância de se apreender desde o ensino básico fenômenos que envolvem o acaso - a Estatística e a probabilidade (BRASIL, 1998), para assim seguirem e compreenderem conhecimentos futuros, por exemplo, a irreversibilidade presente na teoria cinética dos gases.

6.4 CONCEITO DE ALEATORIEDADE: ANÁLISE DAS ENTREVISTAS (ETAPAS E NÍVEIS DO JOGO DIGITAL)

Com base na Teoria Cinética dos Gases, buscamos encontrar, a partir da categoria: conceito de aleatoriedade, palavras nas respostas dos (as) participantes que reportassem ao conceito científico de aleatoriedade, como movimento ao acaso, movimento caótico, movimento aleatório, movimento retilíneo, trajetórias retilíneas, aleatório, choque elástico,

colisão elástica, desordem, desordenado. Neste quarto momento, buscamos nas respostas obtidas nas entrevistas semiestruturadas realizadas com os grupos 01, 02 e 03, responder a terceira e quarta questão de pesquisa:

- *Os (as) participantes conseguem expor e compreender o conceito de aleatoriedade presente na Teoria Cinética dos Gases, durante o contexto proposto nas etapas e nos níveis do jogo digital?*
- *Os (as) participantes levam em consideração os momentos vivenciados nas etapas para expor e compreender o conceito aleatoriedade durante os níveis do jogo digital?*

As respostas às perguntas acima foram norteadas pela questão de número 2 (Apêndice 05 e 07). É importante elucidar que, quando efetuamos esta pergunta, os (as) participantes ainda não haviam presenciado a simulação do movimento aleatório das partículas em cada etapa construída para o jogo digital. Por isso, para retomarmos a investigar o conceito em questão, efetuamos a pergunta de número 4 (apêndice 5): “*Em sua opinião, qual (is) o (s) motivo (s) das partículas irem para lá ou para cá?*”

De acordo com a fundamentação teórica da pesquisa, iniciamos as análises e discussões com os participantes do grupo 01, seguidos do grupo 02.

6.4.1 Grupo 01: Conceito de aleatoriedade – etapas e níveis do jogo digital

As análises e discussões de cada unidade de registro foram realizadas individualmente, seguindo a ordem das etapas e dos níveis do jogo digital. Para isso, as organizamos consecutivamente em quadros distintos, a partir do participante identificado pelo código L1G₁.

Seguem, no quadro 31, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L1G₁.

Quadro 31: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L1G₁

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO				
		Etapa 1A	Etapa 1B	Etapa 1C	Etapa 1D	--
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE	Discurso de gênero científico	--	L1G ₁	--	--	--
		--	--	--	--	--
	Discurso próximo do gênero científico	L1G ₁	--	--	--	--
		--	--	L1G ₁	L1G ₁	--
	Discurso de senso comum	--	--	L1G ₁	L1G ₁	--
		L1G ₁	L1G ₁	--	--	--

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 31, as subcategorias apresentadas por L1G₁ foram: etapa 1A, discurso próximo do gênero científico; etapa 1B, discurso de gênero científico; etapas 1C e 1D se manteve em discurso de senso comum. Nos níveis do jogo, L1G₁ se manteve na subcategoria discurso de senso comum, nos níveis 1 e 2; depois, se manteve na subcategoria discurso próximo do gênero científico, nos níveis 3 e 4.

Na etapa 1A, L1G₁ apresentou enunciados próximos do científico ao responder as razões que a levaram a desenhar as trajetórias no desenho 01, etapa 1A. Observe em sua fala:

L1G₁: Porque elas (falando das partículas) vão andar assim para o mais longe possível uma das outras até bater na paredinha assim; daí, na hora em que baterem, elas vão voltar, ficando assim, não sei se é homogênea a palavra. (Etapa 1A).

O termo homogêneo foi utilizado pelo participante, porém revelou certa dificuldade e incerteza quanto ao emprego desta palavra. Mas, na etapa seguinte, 1B, L1G₁ utilizou o enunciado desordenado para explicar a aleatoriedade do sistema, revelando um entendimento científico da questão investigada. Observe em sua fala:

L1G₁: Eu imaginei que vão ficar igual a outra etapa 1A, elas (falando das partículas) podem até ficar meio parecidinha no começo, mas, com o tempo, elas (falando das partículas) vão ficar desordenadas com certo espaço entre elas, do mesmo modo vão ficar se movimentando batendo umas nas outras. (Etapa 1B).

Percebemos também que o participante levou em consideração os saberes vivenciados na etapa 1A para propor as trajetórias das partículas, bem como para entender e explicar o que fala a respeito da categoria investigada.

L1G₁, ao presenciar outra partícula de cor verde no desenho 01, etapa 1C, não apresentou enunciados pertinentes à aleatoriedade do sistema, revelando outros saberes inerentes à química, mas que não condizem com os postulados da teoria cinética dos gases, principalmente a formação de molécula. Veja:

L1G₁: Eu imagino que são duas moléculas polares diferentes; daí, se eu visse que fossem diferentes, talvez as cargas fossem diferentes, elas (falando das partículas) vão se espalhar também, mas daí elas iam ficar grudadinhas umas nas outras, assumindo que uma, por exemplo, tenha polo negativo e outra positiva, iriam se espalhar, mas entre elas iriam se juntar por causa de uma força, talvez. (Etapa 1C).

L1G₁: Uma nova molécula, uma nova espécie. (Etapa 1C).

Na etapa 1C, consideramos a fala de L1G₁ como senso comum, porque, apesar de ter utilizado enunciados os que não condizem com a categoria investigada, revelou entender que, mesmo formando uma nova espécie, elas iriam se espalhar. Conferimos que a etapa 1C proporcionou ao participante pensar, abstrair, refletir e emitir outros conceitos, carecendo de uma construção mais efetiva quanto ao assunto investigado. Por outro lado, após as

visualizações das simulações entre as partículas na etapa 1C, L1G₁ pôde perceber a não formação de moléculas. Confirmamos com sua fala:

L1G₁: Foram diferentes, elas se espalharam, mas, elas não tiveram essa junção entre elas. (Etapa 1C).

Na etapa 1D, L1G₁ ainda empregou termos do dia a dia para explicar as razões as quais o levaram a desenhar as trajetórias das partículas, mesmo tendo vivenciado o contexto da etapa 1C. Observe sua resposta:

L1G₁: Bom, assumindo igual o anterior, que eles não falam assim nada de carga, eles vão ter o mesmo padrão que o do começo, eles (falando das partículas) vão se espalhar o máximo que eles puderem as moléculas, os três tipos que têm aí, elas não vão se atrair porque eu estou assumindo pelo anterior e também elas vão ficar assim batendo umas nas outras, né, por toda a eternidade. (Etapa 1D).

Contudo o participante, apesar de ter percebido e enunciado que as partículas não têm cargas, não se atraem, mostrou certa confusão em seu discurso, ao explicar os motivos de ter desenhado as trajetórias das partículas diferente da etapa 1C, veja:

L1G₁: Então, na 1C, eu estava achando que as moléculas poderiam se atrair, mas, como não atraí agora eu acho que elas vão ficar se repelindo uma com as outras, estou seguindo o padrão da penúltima (falando da etapa 1C). (Etapa 1D).

Conforme Piaget (1987), percebemos que as etapas construídas do jogo digital (objeto novo), as quais simulam a movimentação aleatória entre as partículas em um sistema fechado, propiciaram ao participante desenvolver esquemas, pois revelou ter assimilado e acomodado os conhecimentos adquiridos no contexto proposto das etapas.

Verificamos a necessidade deste licenciando de reelaborar melhor suas ideias, a fim de emitir um enunciado científico da categoria investigada, principalmente no que diz respeito à movimentação aleatória das partículas, porque, segundo um dos postulados da teoria cinética dos gases, “[...] um gás é formado por um grande número de partículas eletricamente neutras [...]” (CARUSO; OGURI, 2006, p. 67). Ou seja, não há cargas negativas ou positivas entre a movimentação das partículas de gás, segundo a TCG.

Conforme o quadro 31, nos níveis 1 e 2 do jogo digital, L1G₁ se manteve na subcategoria - Enunciado de senso comum, porque utilizou termos como: “chocar, choques, alterar a rota”, para explicar a categoria em questão. Isso pode ser constatado em suas falas:

L1G₁: Ahhhh, eu imagino que elas vão partir da esquerda para a direita e da direita para a esquerda, né. Daí, as azuis vão chegar à direita e vão voltar. E as laranjas também partem da direita para a esquerda. O problema é que as laranjas podem se chocar talvez com as azuis. E daí, iria alterar a rota também. (Nível 1).

L1G₁: Por causa dos choques, elas (falando das partículas azuis e laranjas) vão se chocar bastante umas com as outras. Tem muita bolinha aí, né, são 10 azuis e 10 laranjas, elas vão se chocar. Então, antes de chegar assim,

em um canto, ou outro, sempre vai ter alguma outra (falando das partículas do jogo) que vai mudar a direção. (Nível 2).

Nos níveis 3 e 4 do jogo digital, L1G₁ se manteve na subcategoria - Enunciado próximo do científico. Isso pode ser constatado em suas falas:

L1G₁: Por causa dos choques que tem uma com a outra (falando das partículas do jogo) é bem difícil agora prever a direção que elas vão tomar porque tem bastantes partículas e, conforme o choque, elas têm uma direção que toma. Então, como tem bastantes partículas, elas vão se chocar em qualquer direção delas, né, da esfera. Resumindo, é difícil saber qual a direção mesmo que elas vão tomar. Provavelmente elas vão iguais o nível dois, se concentrar mais no meio, eu imagino, preenchendo bastante o espaço. As bolinhas laranja vão se distribuir bastante no meio, elas vão, não sei se eu posso usar a palavra, homogeneizar. (Nível 3).

L1G₁: Ah, por causa dos choques, né, elas (falando das partículas do jogo) vão chocando uma com outras e vão preenchendo todo o espaço. Como tem muita bolinha, seguindo o mesmo raciocínio da anterior, é difícil prever assim o caminho que você vai fazer. Então, tem que ir se adaptando a direção e a velocidade que as bolinhas vão fazer, né, após os choques entre uma e outra. Então, não tem uma ordem certa assim a partir da primeira, a não ser tentar desviar mesmo das laranjas e, conforme o tempo for passando, eu tentar pegar o máximo possível das azuis. (Nível 4).

Verificamos que os níveis do jogo proporcionaram ao participante refletir, pensar e construir saberes mais próximos do científico, uma vez que, nos enunciados dos níveis 3 e 4, entendeu que não existe uma ordem certa para as direções, colisões (linha 2).

Outro ponto fundamental observado foi que L1G₁ utilizou o termo homogênea, na etapa 1A e homogeneizar no nível 3.

Constatamos que o contexto vivenciado por esse sujeito na pesquisa oportunizou que utilizasse saberes inerentes à química, principalmente se aproximando do conceito investigado na categoria, necessitando apenas reelaborar melhor suas ideias.

Seguem, no quadro 32, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L2G₁.

Quadro 32: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L2G₁

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO				
		Etapa 1A	Etapa 1B	Etapa 1C	Etapa 1D	--
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE	Discurso de gênero científico	--	L2G ₁	--	--	--
		--	--	--	--	--
	Discurso próximo do gênero científico	L2G ₁	--	L2G ₁	--	--
		--	--	--	--	--
	Discurso de senso comum	--	--	--	L2G ₁	--
		L2G ₁	L2G ₁	L2G ₁	L2G ₁	--

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 32, as subcategorias apresentadas por L2G₁ foram: etapas 1A e 1C, discurso próximo do gênero científico; etapa 1B, discurso de gênero científico; etapa 1D,

discurso de senso comum. E, nos níveis do jogo, L3G₁ se manteve na subcategoria discurso de senso comum, nos níveis 1, 2, 3 e 4 do jogo digital.

Na etapa 1A, L2G₁ apresentou a subcategoria discurso próximo do gênero científico porque, apesar de ter reportado ao termo aleatório, observamos, em algumas dessas falas, uma inconsistência; por exemplo: as partículas não têm cargas, mas por serem iguais se repelem (Etapa 1A). Perceba:

L2G₁: Aleatórias assim têm umas que estão mais juntas para cá. Primeiro assim, por elas serem iguais, não tem cargas, as cores são iguais, então por elas serem iguais vão se repelir, como se fosse um gás mesmo, vai se expandir e vai ficar até onde pode, então vai ocupar todo o espaço que tem. (Etapa 1A).

Ou seja, a participante revelou certa dificuldade para entender e explicar suas razões para desenhar as trajetórias das partículas, carecendo reelaborar seus saberes quanto à categoria investigada.

Essa reelaboração de ideias foi possível verificarmos na etapa 1B, pois L2G₁ utilizou termos corretos para explicar a categoria, revelando um conceito científico. Isso pode ser observado nestas falas:

L2G₁: Então, eu penso assim, que é meio difícil elas se movimentarem ou só na horizontal ou na vertical, não sei, fiquei meio confusa, se elas se trombarem com a de cima e com a de baixo, elas podem tanto voltar horizontalmente ou verticalmente, como elas podem trombar para lá e para cá. Então, eu acho que é mais provável se misturarem do que terem um movimento ordenado. (Etapa 1B).

L2G₁: Elas se trombam e voltam, elas têm movimento aleatório, então, quando elas se encontram, elas não vão ficar grudadinhas, elas vão bater e voltar. (Etapa 1B).

Na etapa 1C, L2G₁ apresentou enunciado próximo do científico, pois, ao presenciar outra partícula de cor verde, imaginou a formação de moléculas, mas revelou compreender que, mesmo tendo a junção, formação de moléculas, o movimento vai ser desordenado. Necessita reelaborar melhor suas ideias, como podemos constatar em suas respostas:

L2G₁: Eu acho que por elas serem de cores diferentes, elas vão se juntar e as vermelhas elas não vão ficar próximas umas das outras, poderia ter mais até, tipo mais bolinhas vermelhas junto com verdes. Mas, o movimento delas vai ser desordenado. (Etapa 1C).

L2G₁: Sozinhos são átomos e juntos eles são moléculas, eles vão se misturando e se eles tiverem afinidade um vai atrair o outro e vai formar uma molécula. (Etapa 1C).

Contudo, na etapa 1D, percebemos que a inserção de mais uma partícula no sistema causou certa dúvida em L2G₁, pois utilizou saberes que não dizem respeito à TCG e generalizou, usando termos de senso comum, para explicar e entender a aleatoriedade do sistema, mesmo tendo vivenciado o contexto da etapa 1C, na qual há duas partículas de cores diferentes. É o que indica sua fala:

L2G₁: Ah, porque o outro não deu, então, esse também não vai dar. Então, eu levei em consideração a etapa anterior (1C). Tipo eles são átomos diferentes e não vão se ligar na atmosfera. Daí é como se fossem a água, se o átomo da água na atmosfera se ligasse com o oxigênio, seria tudo em água, que daí viraria tudo água. Então, como eles, eu estou pensando que eles são gases, que as bolinhas são gases, agora não são partículas, não são nada. Então, se forem são gases, eles não vão interagir entre eles, vão ficar tudo misturados. (Etapa 1D).

O contexto vivenciado pela participante durante a aplicação das etapas do jogo nos revelou que ela precisa reelaborar melhor seus saberes quanto à categoria investigada, porque na maior parte das etapas (1A e 1C) utilizou enunciados próximos do científico.

Conforme o quadro 32, nos níveis 1, 2, 3 e 4 do jogo digital, L2G₁ se manteve na subcategoria - Enunciado de senso comum, pois se manteve boa parte explicando a respeito das colisões da partícula vermelha com as azuis, emitindo apenas alguns termos para a categoria em questão. Por exemplo: batendo (Etapa 1A), misturar (Etapa 1B), colisão (Etapa 1C), embaralhadas (Etapa 1D). Isso pode ser constatado em suas falas:

L2G₁: (Sempre mostrando no desenho): Bom, começa um no canto, então, a 1ª do canto vem para cá: 1ª colisão e a 1ª partícula laranja da fileira vem para cima. Daí a 2ª partícula azul da fileira vem para frente para ter a 5ª colisão. A 3ª partícula azul anda um pouco mais (2ª colisão). Aí elas (mostrando as partículas azuis: 3ª e 4ª colisão) ficam se batendo, eu imaginei mais ou menos assim. (Nível 1).

L2G₁: (Sempre mostrando no desenho): Bom, como eu disse, aqui eu tenho mais facilidade (mostrando a 1ª, 2ª e 3ª colisão), então, essas trajetórias eu comecei pela parte de cima. Eeee (pensando), e como elas (falando das partículas do jogo) tendem a se misturar, eu tentei fazer a minha trajetória com que eu me desviasse mais rápido das (pensando), melhor das laranjas. (Nível 2).

L2G₁: Éééé (pensando), eu comecei por aqui (mostrando no desenho as 3 primeiras colisões) do lado em que estão as bolinhas azuis, daí (pensando), como elas são bastantes, então, o movimento (pensando) é, na vertical, então, acho que seria mais fácil. Então, eu fiz, eu tentei fazer o máximo de colisão (mostrando no desenho as colisões da 1ª até a 11ª) fica mais evidente, porque eu acho que fica mais fácil de desviar. (Nível 3).

L2G₁: Bom, como a duração do tempo é maior e as bolinhas estão em maior quantidade e são maiores, elas vão ficar mais embaralhadas possíveis (risos). Então (pensando), eu coloquei duas mais próximas, duas mais próximas (mostrando no desenho alguns “pares” de partículas laranja). Aí, porque eu acho assim, como elas são muitas, algumas vão ficar meio próximo, tanto as laranjas quanto as azuis (mostrando no desenho os pares de partículas laranja e azul). (Nível 4).

Verificamos que as etapas construídas do jogo permitiram a L2G₁ utilizar seus conceitos científicos de aleatoriedade mais próximo do esperado do que nos níveis do jogo. Esse fato pode ter ocorrido devido às regras impostas no jogo, uma vez que o jogador pode se ater somente as elas para passar os níveis, colidir no tempo, entre outros.

Seguem, no quadro 33, a categorias, as subcategorias e as unidades de registro de L3G₁.

Quadro 33: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L3G₁

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO				
		Etapa 1A	Etapa 1B	Etapa 1C	Etapa 1D	--
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE	Discurso de gênero científico	--	L3G ₁	--	L3G ₁	--
		--	--	L3G ₁	L3G ₁	--
	Discurso próximo do gênero científico	L3G ₁	--	--	--	--
		--	--	--	--	--
	Discurso de senso comum	--	--	L3G ₁	--	--
		L3G ₁	L3G ₁	--	--	--

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 33, as subcategorias apresentadas por L3G₁ foram: etapa 1A, discurso próximo do gênero científico, etapas 1B e 1D, discurso de gênero científico; etapa 1C, discurso de senso comum. E, nos níveis do jogo, L3G₁ se manteve na subcategoria discurso de senso comum nos níveis 1 e 2; depois, se manteve na subcategoria discurso de gênero científico, nos níveis 3 e 4.

Na etapa 1A, L3G₁, se aproximou do conceito de aleatoriedade, porque percebemos em sua resposta o emprego de termos que necessitam ser reelaborados, por exemplo, meio aleatório, pois não existe meio aleatório. Observe em suas falas:

L3G₁: Eu acredito que ele (falando do gás) vai se dispersar pela tela toda porque é gás, né, ele vai começar a se chocar porque ele não tem muito peso para ficar fixo em um lugar e se ele tem liberdade ele começa a dispersar sem ordem meio aleatório. E, como os gases estão em um espaço confinado, eles vão procurar a se espalhar e tipo chegar perto das bordas, então vai começar a ter os choques e daí se espalhar. (Etapa 1A).

Na etapa 1B, L3G₁ reelaborou melhor suas ideias e utilizou termos científicos, como movimento aleatório, para explicar suas razões em ter desenhado as trajetórias no desenho x e assim nos revelar compreender o conceito de aleatoriedade. Confira sua fala:

L3G₁: Pela teoria dos gases, vai acontecer praticamente a mesma coisa, ele vai procurar se expandir, bater aqui no espaço e voltar. Ele não vai ter essa ordem, essa linearidade assim. Ele vai ter movimento aleatório, choques. Vai perder essa linearidade. (Etapa 1B).

Na fala da etapa 1B, L3G₁ também revelou ter criado esquemas, conforme Piaget, ao descrever “vai acontecer praticamente a mesma coisa”; ela levou em consideração a vivência da etapa 1A para propor as trajetórias das partículas.

Na etapa 1C, a presença de outra partícula de cor verde levou L3G₁ a pensar, indagar e revelar outros conceitos químicos, os quais não condizem com o conceito investigado. Observe sua resposta:

L3G₁: Se elas (falando das moléculas de gás) tiverem a questão da polaridade, elas podem se aproximar uma da outra, né, para tentar se organizar uma com a outra e se ligar. Será que é possível? As moléculas de gás? Pode! O hélio, o hidrogênio com o oxigênio acaba se ligando, se aproximando. Elas podem se aproximar! (Etapa 1C).

Na sequência, foi questionado a participante o que significa “se aproximando”? Em sua resposta, confirmamos o seu pensar, ou seja, para ela, a partícula verde poderia se ligar com a vermelha para formar um novo composto. Perceba:

L3G₁: Se ligar, fazer alguma interação entre as moléculas e outras. Se as condições permitirem, se elas forem moléculas que tenham compatibilidade, polaridade, ligações de hidrogênio, elas podem se aproximar e acabar se ligando. (Etapa 1C).

L3G₁: Que está formando um novo composto. (Etapa 1C).

Após a visualização da movimentação aleatória das partículas, L3G₁ reordenou suas ideias e empregou termos do senso comum, para explicar os motivos das partículas se movimentarem no sistema e de não ter formado novo composto como ela havia previsto no desenho 03, etapa 1C, como reportado em sua fala:

L3G₁: Pelo choque que estão acontecendo entre elas, estão sendo bem efetivos, aumentando a velocidade e por isso, elas batem e voltam porque elas estão soltas no espaço confinado e a tendência delas é sempre querer expandir, sair fora. Mas, como elas voltam, batem e ganham velocidade e voltam, voltam para o centro. O mesmo movimento das outras etapas. (Etapa 1C).

Constatamos que a participante levou em consideração os saberes vivenciados nas etapas anteriores, criando esquemas e os assimilando nas etapas posteriores (PIAGET, 1987, 2012, DOLLE, 1995, LIMA, 1980). Podemos confirmar esse fato nas trajetórias das partículas do desenho 03, etapa 1D, e também na fala de L3G₁:

L3G₁: Vai acontecer a mesma coisa, apesar de ter três moléculas diferentes, elas não vão se diferenciar. Nas outras etapas, eu imaginei que elas iam haver uma formação, mas não! Aqui, eu acredito que também não. O movimento é aleatório mesmo, elas se juntam e se separam, a mesma coisa dos outros gases. Então, porque, como não nos ocorreu outros, eu imagino que nesse também não vai haver. Eles vão se chocar e vão voltar. Pode acontecer em algum momento de eles andarem juntos, igual ali. Mas só por um momento, sabe, daí eles se chocam, voltam a ficar sozinhos. (Etapa 1D).

Averiguamos que as etapas construídas do jogo digital foram importantes porque permitiu a participante, pensar, abstrair, refletir e emitir conceitos científicos, como movimento aleatório mesmo, retomado no enunciado da etapa 1D.

O contexto vivenciado pela participante na etapa 1C também foi importante para ela observar e perceber, por meio das simulações do movimento aleatório das partículas, a não formação de produtos. Pois, “as moléculas só interagem umas com as outras quando em contato nas **colisões elásticas**, que não são frequentes” (ATKINS; PAULA, 2012. p. 290, grifo nosso).

Conforme o quadro 33, nos níveis 1 e 2 do jogo digital, L3G₁ apresentou discurso de senso comum, porque verificamos a utilização de termos como colidir e pegar, para explicar suas razões para ter desenhado as trajetórias das partículas. Essa confirmação foi evidenciada por meio das falas:

L3G₁: Bom, o problema é que aqui no papel (mostrando o desenho) elas estão estáticas. Mas no jogo elas não vão ficar estáticas. Então, eu vou tentar colidir com as mais próximas primeiras (azuis). (Nível 1).

L3G₁: Porque ali eu percebi no nível 1: tinha momentos em que elas ficavam 2 ou 3 próximas, né (falando das azuis), então, tentar aí pegar as que estiverem mais próximas. Entrar no meio, e tentar pegar elas. Depois, ir fugindo das laranjas. (Nível 2).

Percebemos na fala acima de L3G₁, no nível 2, a experiência vivenciada pela jogadora no nível 1, para poder prever as trajetórias de partículas no desenho x e as colisões com as azuis.

No nível 3, constatamos a subcategoria – enunciado científico, na fala de L3G₁:

L3G₁: Porque tanto na 1º como na 2º fase, a rapidez, né, elas são bem rápidas (falando das partículas do jogo). E, como o movimento é aleatório, não é premeditado, você tem que tentar se desviar das laranjas, porque acaba se chocando, se você ficar estático, parado, pode acontecer do choque, que é inevitável o choque. (Nível 3).

Na fala acima, averiguamos que a experiência da jogadora nos níveis 1 e 2, lhe proporcionou criar esquemas e os assimilar para explicar e emitir corretamente o conceito de aleatoriedade ao reportar sobre o movimento aleatório, que não é premeditado, para prever as colisões das partículas no jogo.

No nível 4, L3G₁, manteve-se na subcategoria – Enunciado científico, pois, em um primeiro momento, ao responder a respeito de suas razões para desenhar as trajetórias no desenho 03, percebemos termos de senso comum, como misturar. Mas, logo em seguida, ao explicar que as suas colisões durante o jogo não foram como ela havia imaginado, nos revelou corretamente o conceito de aleatoriedade. Isso pode ser constatado em suas falas, consecutivamente:

L3G₁: Então, de início, tentar alcançar as que estiverem mais próximas, né. E, depois, tentar desviar (laranjas) porque elas vão se misturar mesmo. E tentar se aproximar mais das azuis, onde elas estiverem mais na borda, para ficar mais fácil de eu desviar das laranjas, porque, como o volume é maior, o número de mols, de partículas está muito grande, elas ocupam, né, muito espaço, a pressão é bem alta, aumentada também; por isso, é difícil de não ser acertada, tem que ter muita habilidade. (Nível 4).

L3G₁: Não. Porque aqui no desenho eu as imaginei estáticas. E aqui no jogo, não! Elas estão em movimento! Então, como é aleatório, não tem como você prever, né. Eles estão em movimento assim e, conforme bate, volta, bate e volta. Então, não tem uma trajetória definida, é bastante difícil! Tem que ter bastante habilidade para conseguir acertar o desenho e o jogo! (Nível 4).

Constatamos, na última fala de L3G₁, uma correta compreensão quanto à imprevisibilidade de trajetórias das partículas, ou seja, como ela mesmo enunciou, não tem

como prever. O contexto vivenciado pela jogadora no jogo digital foi importante porque lhe proporcionou abstrair, pensar, refletir e expor corretamente suas ideias quanto ao conceito investigado.

Seguem, no quadro 34, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L4G₁.

Quadro 34: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L4G₁

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO				
		Etapa 1A	Etapa 1B	Etapa 1C	Etapa 1D	--
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE	Discurso de gênero científico	L4G ₁	L4G ₁	L4G ₁	L4G ₁	--
		--	--	L4G ₁	--	--
	Discurso de senso comum	--	--	--	--	--
		L4G ₁	L4G ₁	--	L4G ₁	L4G ₁

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 34, nas etapas, L4G₁ se manteve na subcategoria discurso de gênero científico. E, nos níveis do jogo, se manteve na subcategoria discurso de senso comum, nos níveis 1, 2, 4 e 5; no nível 3, apresentou discurso de gênero científico.

Na etapa 1A, L4G₁, apesar de ter empregado termos que utilizamos no dia a dia, “espalhada”, “misturada”, percebemos em sua fala palavras corretas quanto aos postulados da teoria cinética dos gases. Observe sua fala:

L4G₁: Porque as bolinhas vão bater, o choque elástico, elas vão bater e vão se distanciar, nas paredes também, então elas não vão seguir uma trajetória reta assim, vai ser descontínua, elas vão estar tudo espalhadas, misturadas. (Etapa 1A).

Na fala da etapa 1A, percebemos que L4G₁ entende um dos postulados da TCG, pois a energia total antes da colisão é igual à energia total após a colisão, portanto, as colisões são do tipo elásticas (CASTELLAN, 2001).

L4G₁ também reportou corretamente para a questão da direção na qual as partículas seguem após as colisões ao responder o (s) motivo (s) das partículas irem para lá ou para cá no sistema. Observe sua resposta:

L4G₁: Porque elas vêm de lá, batem na parede e vão para o outro lado; depende de onde elas vão se chocar ou com outras bolinhas. (Etapa 1A).

L4G₁ revelou compreender um dos postulados da TCG, pois, “[...] a direção em que uma molécula se move é aleatória, ou seja, não há direção privilegiada para seus deslocamentos [...]” (CARUSO; OGURI, 2006, p. 67).

Na etapa 1B, L4G₁, ao responder suas razões para desenhar as trajetórias nos desenhos, utilizou termos de senso comum, para explicar a aleatoriedade do sistema. Mas, em seguida, utilizou corretamente conceitos científicos, para explicar o motivo de as partículas se movimentarem no sistema. Atente para sua fala:

L4G₁: Aí, como elas estão paradinhas, elas estão tudo alinhadinhas, né? Aí, a hora que começar, uma vai para cima, uma vai pra baixo, uma vai para um lado e uma vai para o outro. Daí, vai ficar tudo misturado, igual no anterior, tudo bagunçado. (Etapa 1B).

L4G₁: Por causa do choque elástico também. (Etapa 1B).

L4G₁ manteve o mesmo pensar da etapa 1A, como podemos verificar nas falas da etapa 1B, ou seja, uma compreensão correta do conceito de aleatoriedade investigado. Portanto, este discurso nos leva a crer que L4G₁ possui uma concepção correta do tipo de choque que ocorrem entre as moléculas de gases no modelo cinético dos gases, proposto na simulação da etapa 1B de construção do jogo, pois, na colisão elástica, a energia cinética total entre duas partículas é a mesma antes e depois da colisão (CASTELLAN, 2001).

Na etapa 1C, observamos novamente termos científicos nas respostas da participante ao explicar suas razões para desenhar as trajetórias no desenho. E, também, ao responder se havia percebido alguma relação com a etapa 1B. Observe suas falas:

L4G₁: Que elas estão num sistema só, então elas vão começar um movimento desordenado e vão começar a se misturar. Elas começam a se bagunçar entre si, depois elas, conforme vão acontecendo os choques, elas vão se misturando, as vermelhinhas e as verdinhas. (Etapa 1C).

L4G₁: É um pouco mais difícil, porque na anterior só tinha um tipo de bolinha. Mas, tipo, tanto as vermelhas como as verdes se comportam iguais, só que na segunda fase elas começam a se misturar. (Etapa 1C).

L4G₁: O mesmo princípio, assim, do choque elástico, do movimento desordenado, do choque não construtivo que imaginando se fossem duas moléculas diferentes podia ter um choque construtivo e uma outra terceira molécula. (Etapa 1C).

Na etapa 1D, L4G₁, apesar de ter empregado novamente termos os quais utilizamos no dia a dia, como: “bagunçar”, “misturar”, para explicar suas razões para desenhar as trajetórias das partículas, percebemos a manutenção da concepção aleatória em suas respostas, principalmente quando explicou se havia percebido alguma relação com as etapas anteriores. Observe sua fala:

L4G₁: Porque elas estão alinhadinhas, aí elas vão começar a se bagunçar de novo entre si, depois vai se misturar com as de outras cores. (Etapa 1D).

L4G₁: O tempo, né, que tipo, não é instantâneo. Daí o fato dos choques também. Daí uma vai batendo com a outra até chegar, tipo a verde até chegar lá no meio das vermelhas pode demorar algum tempo maior do que a azul que estava do lado. (Etapa 1D).

L4G₁: Que todas têm um choque elástico, tanto entre elas como nas paredinhas, o movimento desordenado, bagunçadinho, é o choque elástico que elas se batem mais não ficam juntas. Às vezes elas ficam um pouquinho porque têm muitas num cantinho só, mas, elas já se separam. (Etapa 1D).

Verificamos que as etapas de construção do jogo digital foram importantes porque propiciou à participante pensar, refletir e utilizar corretamente termos científicos inerentes à teoria cinética dos gases, neste caso, de aleatoriedade. Assim, L4G₁ não apresentou dificuldades para apresentar suas ideias, uma vez que verificamos a manutenção de suas concepções, principalmente nas etapas 1C e 1D, as quais constam com a inserção de outras partículas.

No nível 1 do jogo digital, primeiramente, L4G₁ não elucidou o conceito de aleatoriedade, quando o questionamos sobre suas razões para ilustrar as trajetórias no desenho 17. Mas, ao explicar o motivo de suas trajetórias de partículas durante o jogo não terem sido como havia previsto no desenho, revelou entender a imprevisibilidade de trajetória das partículas. A segunda fala indica isso:

L4G₁: As azuis vão vir (mostrando as azuis vindas para o centro no desenho), e as laranjas também, daí eu venho buscar a 1ª colisão, depois as demais. (Nível 1).

L4G₁: Porque não segue uma ordem assim, um caminho (risos). (Nível 1).

Podemos perceber que L7G₁, apesar de não ter utilizado termos científicos para explicar o conceito de aleatoriedade, revelou saber a respeito da imprevisibilidade de trajetórias das partículas. Esta realidade outra vez é confirmada em sua resposta à pergunta: *Para realizar as outras colisões, você retorna ao meio do jogo?* Observe sua fala:

L4G₁: Não, eu iria colidir, não sei onde eu vou estar, vou colidir longe das bolinhas laranja (risos). (Nível 1).

A jogadora L7G₁ revelou não saber onde vai estar, ou seja, devido à movimentação aleatória das partículas, não tem mesmo como saber as suas posições.

No nível 2 do jogo digital, L4G₁ novamente não elucidou o conceito de aleatoriedade quando o questionamos sobre suas razões para ilustrar as trajetórias no desenho 17. Mas, ao explicar qual foi sua estratégia para passar o nível 2, ou seja, colidir com as azuis no determinado tempo, explicou, com enunciado de senso comum, entender a imprevisibilidade de trajetória das partículas. A sua segunda fala comprova:

L4G₁: Eu fui tentando desviar das laranjas. (Nível 2).

L4G₁: Em fugir das laranjinhas e tentar imaginar uma rota porque agora que vão aumentar as bolinhas, vai ser mais difícil, né. Mas é impossível, imagina, você acha que ela vai para um lado (falando das partículas do jogo), mas ela vai para o outro. (Nível 2).

No nível 3, apesar de a participante outra vez utilizar uma linguagem coloquial para explicar suas razões para desenhar as trajetórias no desenho 17, constatamos um enunciado científico em sua fala.

L4G₁: Tudo bagunçado, porque é desordenado o movimento. Daí eu fiz tudo bagunçado porque eu não faço ideia de como vai ficar essas bolinhas! Eu comecei aqui no meio (mostrando no desenho), então as que vierem mais perto de mim (falando das bolinhas azuis), eu já vou e colido. Aí, depois eu vou procurando as outras, nos cantinhos, para cima, para baixo, vou seguir elas, né. (Nível 3).

A fala da participante revela uma compreensão quanto à imprevisibilidade de trajetórias das partículas, uma vez que reportou não ter ideia de como vão ficar essas bolinhas.

No nível 4, L4G₁ utilizou termos do senso comum para explicar as razões que a levaram a desenhar as trajetórias das partículas no desenho 17. Observe sua fala:

L4G₁: Eu comecei aqui em cima de novo (mostrando o lado esquerdo no desenho), porque na hora que dá o play, eu acho que fica mais fácil porque as bolinhas ainda estão devagar. Depois, eu vou buscar as outras. Mas, no fim, vai estar tudo bem bagunçado também, porque, quando elas começam a colidir com as laranjas, não sei se foi coisa da minha cabeça. Mas, daí, eu vi que elas aumentam um pouco a velocidade né. (Nível 4).

Na fala acima, notamos que L4G₁ necessita reelaborar seu saber, pois, utilizou o termo “bagunçado” para explicar o conceito de aleatoriedade.

O nível 4 do jogo digital foi importante para a jogadora vivenciar a imprevisibilidade de trajetórias das partículas, pois verificamos em sua fala que suas trajetórias durante o jogo não foram como ela havia previsto no desenho 17. Conforme sua fala:

L4G₁: Não, porque eu nem consegui ir tanto para o lado direito do jogo, eu fiquei mais do lado direito, tentando não colidir com as laranjinhas e não perder de novo (risos). (Nível 4).

No nível 5, L4G₁ outra vez utilizou o termo “bagunçadas” para explicar as razões as quais a levaram desenhar as trajetórias das partículas no desenho 17, segundo sua fala:

L4G₁: Fiz mais colisões com as azuis nesta região (mostrando o lado esquerdo no desenho) que é onde eu sempre costumo ficar, porque é a minha estratégia, ficar em um cantinho e ir devagar. As bolinhas laranja tudo bagunçada por causa do movimento bagunçado delas (falando das partículas do jogo).

Os níveis 1, 2, 4 e 5 do jogo digital proporcionaram a verificação de enunciados de senso comum da participante, para explicar o conceito de aleatoriedade.

O contexto vivenciado por L4G₁ no que diz respeito às previsões das trajetórias feitas antes de jogar cada nível e, após jogar o jogo, lhe proporcionou expor suas ideias, refletir e utilizar termos de senso comum, para explicar a imprevisibilidade das trajetórias das partículas.

Seguem, no quadro 35, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L5G₁.

Quadro 35: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L5G₁

CATEGORIA	SUBCATEGORIA	UNIDADES DE REGISTRO				
		Etapa 1A	Etapa 1B	Etapa 1C	Etapa 1D	--
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE	Discurso de senso comum	L5G ₁	L5G ₁	L5G ₁	L5G ₁	--
		L5G ₁	L5G ₁	L5G ₁	L5G ₁	--

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 35, L5G₁ empregou enunciados de senso comum para explicar o conceito de aleatoriedade em todas as etapas construídas e níveis do jogo digital. Vale ressaltar que, do grupo 01, somente L5G₁ não modificou o seu discurso de senso comum, tanto na aplicação das etapas como nos níveis.

Na etapa 1A, a participante utilizou termos de senso comum, para explicar suas razões para desenhar as trajetórias das partículas. Perceba em sua fala:

L5G₁: Porque são os gases, eles (falando dos gases) vão se chocar e depois se dispersam. (Etapa 1A).

Percebemos, a partir desta fala, que L5G₁ necessita apreender os conhecimentos inerentes à TCG, pois, ao responder outra questão a respeito do motivo de ter desenhado as partículas juntas (desenho 05), revelou outros conhecimentos os quais não condizem com o investigado. Isso pode ser constatado em suas falas:

L5G₁: Ah, é para poder ter a formação, sei lá; se chocarem, porque no ar tem outros tipos de gases, são vários, não tem só um tipo de gás. Como na química, tem os que se atraem, os que se repelem. (Etapa 1A).

Na etapa 1B, L5G₁ manteve o emprego de senso, para justificar suas trajetórias no desenho 05. E ainda revelou outros saberes os quais não dizem respeito à TCG, ao esclarecer o motivo das partículas irem para lá e para cá no sistema. Perceba em suas respostas:

L5G₁: Agora eles estão cada um em fileirinha, bonitinha. Ah, eles (falando das partículas) vão se espalhar, né; depois bate um com o outro e vai seguindo o seu rumo. (Etapa 1B).

L5G₁: Ah, devido ao que bate neles, tem alguma força aí sobre eles, né? Exercendo sobre eles. (Etapa 1B).

Para L5G₁, a força que existe entre as partículas que as fazem se movimentar no sistema é a de atração e repulsão, como indica sua resposta, ao explicar qual é essa força. Veja:

L5G₁: De atração, né? Tem a força de atração e repulsão quando bate. (Etapa 1B).

Na etapa 1C, L5G₁ novamente manteve o emprego de senso, para justificar suas trajetórias no desenho 05, como verificamos em sua resposta:

L5G₁: Agora é duas, a vermelha vai se chocar com a verde, vermelha com vermelha, verde com verde, vão chocar entre elas. (Etapa 1C).

L5G₁ ainda revelou outros saberes que não dizem respeito à TCG, ao esclarecer o motivo das partículas irem para lá e para cá no sistema. Isso pode ser constatado em suas falas:

L5G₁: Porque elas (falando das partículas) vão interagir entre elas, vão se chocar. (Etapa 1C).

Na etapa 1D, L5G₁ finalmente manteve o emprego de senso, para justificar suas trajetórias no desenho 05. E ainda revelou outros saberes os quais não dizem respeito à TCG, ao esclarecer o motivo das partículas irem para lá e para cá no sistema. Perceba em suas respostas:

L5G₁: Porque são mais partículas, elas vão acontecer a mesma coisa, uma vai chocar na outra, bate na outra e se dispersam. (Etapa 1D).

L5G₁: Aquilo que eu disse, não sei explicar muito bem. Mas uma força que entre elas, puxa de um lado, puxa do outro lado e elas vão. (Etapa 1D).

As etapas de construção do jogo nos permitiram analisar e verificar ideias de senso comum nas falas de L5G₁. A participante necessita apreender a respeito dos conhecimentos da teoria cinética dos gases.

No nível 1 do jogo digital, primeiramente, L5G₁ emitiu enunciados de senso comum, para explicar o conceito de aleatoriedade ao questionarmos sobre suas razões para ilustrar as trajetórias no desenho 18. Observe sua fala:

L5G₁: As razões (pensando)? Ahh, porque elas estão assim numa posição exata. Depois, a hora em que começarem os movimentos, elas vão se movimentarem, né. Conforme vai colidindo com elas, vai se espalhando. Não fica no mesmo lugar, sai de um lugar vai para o outro, não para no lugar de onde ela partiu. Geralmente elas ficam circulando. (Nível 1).

A jogadora também não apresentou conceitos científicos para explicar a imprevisibilidade de trajetória das partículas, mas revelou saber que não tem como prever as trajetórias das partículas. As falas abaixo comprovam tal fato:

L5G₁: Foi, né (risos). Mas ninguém sabe ao certo (risos) como elas vão ficar (risos). (Nível 1).

Apesar de L5G₁ não ter utilizado termos científicos, para explicar o conceito de aleatoriedade, revelou ter noções de imprevisibilidade de trajetórias das partículas.

Nos níveis 2, 3 e 4 do jogo digital, L5G₁ também utilizou palavras do senso comum, para explicar o conceito investigado e justificar suas razões, para ilustrar as trajetórias no desenho 18. Isso pode ser percebido em suas falas:

L5G₁: É porque aumentaram as bolinhas, né. Então, o quadrado é o mesmo tamanho, só que elas aumentaram. Então, por isso elas vão fazer essas trajetórias (falando do seu desenho). Elas vão se expandir mais entre o quadro ali. (Nível 2).

L5G₁: Agora aumentaram as bolinhas. Então, a gente tem que aumentar a atenção, a agilidade, para matar todas elas, de preferência no tempo determinado e não colidir com as laranjas. É isso! Tentar matar elas o mais rápido possível e depois não colidir com as laranjas. (Nível 3).

L5G₁: Agora aumentaram as bolinhas. Então, agora é mais fácil a gente chocar com as laranjas né. Então, daí tem que prestar mais atenção para poder matar as azuis, de preferência ali no cantinho (do lado esquerdo), mais rápido né. Eu vou tentar né porque elas estão meio juntinhas, são mais bolinhas azuis, geralmente é mais fácil para você pegar elas e matar tudo de uma vez e depois é só desviar das laranjas (risos). (Nível 4).

Nas falas dos níveis 2, 3 e 4, percebemos que a jogadora atentou mais às regras do jogo, para explicar suas trajetórias no desenho 18, por exemplo, o aumento de partículas, mais atenção e agilidade, colidir no tempo determinado, desviar das partículas laranjas.

Constatamos uma incoerência entre as trajetórias propostas pela jogadora no desenho 05, nível 4 diante de sua resposta acima, pois ela relatou “[...] prestar mais atenção para poder matar as azuis, de preferência ali no cantinho (do lado esquerdo) [...]”, porém no desenho 18, nível 4, não ilustrou o que falou.

Concluimos que a cada nível do jogo digital (objeto novo), a participante foi desenvolvendo esquemas e assimilando os conhecimentos adquiridos em cada nível (PIAGET, 1987). Confirmamos esse dado ao compararmos os seus desenhos. Porém encontramos nos discursos de L5G₁ contradições e incoerências ao justificar as ilustrações das trajetórias das partículas nos desenhos e suas razões.

Seguem, no quadro 36, categorias, as subcategorias e as unidades de registro de L6G₁.

Quadro 36: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L6G₁

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO				
		Etapa 1A	Etapa 1B	Etapa 1C	Etapa 1D	--
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE	Discurso do gênero científico	L6G ₁	L6G ₁	--	--	--
		--	--	--	L6G ₁	--
	Discurso próximo do gênero científico	--	--	--	--	--
		--	--	L6G ₁	--	--
	Discurso de senso comum	--	--	L6G ₁	L6G ₁	--
		L6G ₁	L6G ₁	--	--	L6G ₁

Fonte: Dados da pesquisa

Nas etapas 1A e 1B, L6G₁, utilizou termos científicos para justificar suas razões, para desenhar as trajetórias das partículas (desenho 06). Perceba em suas falas:

L6G₁: É um gás; se é um gás, ele se expande e ocupa o recipiente inteiro, mas isso não quer dizer que as moléculas vão ficar paradas, elas têm movimento, tende à desordem, batendo nos cantos da parede e voltando. (Etapa 1A).

L6G₁: Ainda tende à desordem! É um gás, mesmo que ele esteja alinhado ou não às suas moléculas continuam tendo energia, ele vai se expandir para ocupar o recipiente dele e vai acontecer a desordem, tende a desordem, tende ao caos, vai chocar contra as paredes, vai chocar entre elas. O mesmo caos! (Etapa 1B).

Constatamos que o participante manteve suas ideias de aleatoriedade nas duas primeiras etapas de construção do jogo digital, empregando a palavra desordem para justificar as trajetórias no desenho 06, etapa 1A e 1B.

Mas, na etapa 1C, com a presença de outra partícula de cor verde, percebemos dúvida no pensar de L6G₁, uma vez que, não tendo certeza ainda, falou da possibilidade de formar “alguma coisa”. Observe sua resposta:

L6G₁: Porque o gás vai se misturar, são dois gases ocupando o mesmo ambiente, eles vão continuar preenchendo o volume todo. Eles vão começar a se chocar. De vez em quando pode até formarem alguma coisa assim tipo, dependendo, como eu posso dizer da energia que elas estiverem para formar alguma coisa. (Etapa 1C).

Na fala da etapa 1C, verificamos a necessidade de L6G₁ em reelaborar melhor suas ideias quanto algumas concepções que não dizem respeito ao assunto investigado. Este fato pode ser confirmado também quando o questionamos a respeito do motivo de as partículas irem para lá e para cá, pois, para ele, há alguma força atuando no choque entre as partículas. Atente para sua fala:

L6G₁: O motivo é a força com que essas moléculas chocam uma com as outras, mudando o curso, batendo na parede e indo para o outro lado. Aí tem molécula que bate aqui, atravessa para lado de lá, bate lá e volta. (Etapa 1C).

Na etapa 1D, L6G₁ também apresentou um enunciado de senso comum, uma vez que utilizou termos do dia a dia, para justificar suas trajetórias no desenho 06, revelando novamente conceitos que não dizem respeito ao assunto investigado. Como indica sua fala:

L6G₁: Porque o gás vai se misturar, são dois gases ocupando o mesmo ambiente, eles vão continuar preenchendo o volume todo. Eles vão começar a se chocar. De vez em quando pode até forma alguma coisa assim tipo, dependendo, como eu posso dizer da energia que elas estiverem para formar alguma coisa. Mas creio que não vai formar ainda. Mas o gás vai se expandir e de qualquer maneira eles vão entrar em contato um com outro e misturar os dois gases. (Etapa 1D).

Na fala acima, constatamos que, para L6G₁, dependendo da energia, pode formar alguma coisa, mas revelou não ter certeza quanto a isso. Essa questão da energia apontada pelo

participante apareceu outra vez em sua fala, ao explicar o motivo das partículas irem para lá e para cá no sistema. Veja:

L6G₁: Esse movimento já é um movimento próprio do gás, é o movimento de expansão. Ele já tem uma energia para poder se expandir. Então, o gás toma forma do recipiente. E, como ele vai tomar forma do recipiente, ele, primeiro, vai se expandir de uma maneira que vai chocar com as paredes, vai se chocar com as próprias moléculas deles e com moléculas de outros gases que estiverem juntas. E, aí vai virar essa bagunça, vai e volta, bate. (Etapa 1D).

As etapas de construção do jogo nos permitiram analisar e verificar enunciados científicos nas duas primeiras etapas. Mas as etapas 1C e 1D, as quais contam com a inserção de outras partículas no sistema, permitiram verificar que L6G₁ possui incertezas quanto ao assunto investigado, portanto necessita reelaborar melhor seus conhecimentos a respeito da teoria cinética dos gases.

No nível 1 do jogo digital, L6G₁ não elucidou o conceito de aleatoriedade, quando o questionamos sobre suas razões para ilustrar as trajetórias no desenho 19. Como indica sua fala:

L6G₁: Ah, eu tenho que fazer de alguma maneira que não pegue nas laranjas, no caso, no jogo. Eu tenho que fazer ela (falando da partícula vermelha) colidir com as azuis. Então, procurar desviar das laranja fazendo o trajeto para chegar à azul. (Nível 1).

Na fala acima, o jogador atentou às regras do jogo. Mas, ao explicar o motivo de suas trajetórias de partículas durante o jogo não terem sido como havia previsto no desenho, empregou termo do senso comum, para explicar a imprevisibilidade de trajetória das partículas. É o que indica a segunda fala:

L6G₁: Não! Ah, isso aí (falando das partículas do jogo) nunca vai estar igual, você nunca vai saber onde ele (falando do gás) vai estar. (Nível 1).

No nível 2 do jogo digital, percebemos que L6G₁, apesar de ter utilizado termos de senso comum, elaborou melhor as repostas ao explicar suas razões de ilustrar as trajetórias no desenho 19 e também dos motivos de suas colisões durante o jogo não terem sido como havia previsto. As falas abaixo comprovam tal fato:

L6G₁: Como são gases, conforme choca, vai dispersar as moléculas, dispersando as moléculas eu vou ter que acabar indo atrás de algumas que provavelmente eu não vou ter acertado logo no começo. E, aí, como o gás preenche o recipiente, então, no caso, as moléculas vão começar a bater nas bordas, expandir. E, aí, no caso, eu vou ter que fazer uma trajetória desviando das moléculas que eu não quero acertar. (Nível 2).

L6G₁: É, as trajetórias, como eu já disse, não têm como a gente prever para onde ela vai parar e tudo mais. Mas, pela previsão de dispersão, eu acho que ficou dentro.

No nível 3, apesar de L6G₁ ter utilizado a palavras “espalhando”, para explicar suas razões para ilustrar as trajetórias das partículas, posteriormente, encontramos conceitos mais próximos do científico. Observe sua fala:

L6G₁: Ah, a mesma razão, a hora em que eu bater na primeira bolinha, já vai estar se espalhando tudo, (risos), e aí, eu vou ter que correr atrás. (Nível 3).

Na fala acima, verificamos que o jogador levou em consideração os esquemas construídos nas etapas anteriores, para prever as trajetórias das partículas. E, novamente, explicou que as partículas podem estar em qualquer lugar, ao responder sobre a posição da partícula vermelha no desenho 19. Perceba sua resposta:

L6G₁: Não, ela (falando da partícula vermelha) vai estar em movimento junto com o restante dos gases, então ela pode estar em qualquer lugar, não só ali. (Nível 3).

Tal fato, também foi confirmado quando L6G₁ explicou por que suas trajetórias/colisões durante o jogo não foram como havia imaginado no desenho 19, nível 3, conforme sua fala:

L6G₁: Não! Nada a ver (risos). As trajetórias tudo perdida. (Nível 3).

L6G₁: Ah, eu não sei, não tem explicação! Cada hora bate de um jeito as moléculas, se chocam de uma forma diferente, acaba fazendo um movimento, sei lá, estranho. Um caos. (Nível 3).

Nas falas no nível 3, verificamos uma compreensão do jogador de imprevisibilidade de trajetórias das partículas, necessitando apenas reelaborar melhor suas ideias, pois, “o movimento molecular dentro do recipiente que contém a amostra é completamente aleatório, e todas as direções da velocidade são igualmente prováveis” (MAIA; BIANCHI, 2007, p. 160).

No nível 4, L6G₁ utilizou enunciados científicos, ao explicar as razões as quais o levaram desenhar as trajetórias das partículas no desenho 19. Observe sua fala:

L6G₁: A mesma razão das outras. Não dá para prever o movimento para onde elas (falando das trajetórias das azuis) vão. (Nível 4).

Percebemos, nessa fala do nível 4, que o jogador levou em consideração os conhecimentos adquiridos nas etapas anteriores, para ilustrar as trajetórias.

Na sequência, ao responder por que não dá para prever o movimento das partículas, revelou enunciados científicos os quais aludem para a aleatoriedade investigada. Como indicam suas respostas:

L6G₁: Primeiro é que a gente não consegue enxergar as moléculas. Então, a gente não sabe para onde elas (falando das trajetórias das azuis) estão indo e tudo mais. Então, aí já dá uma complicada. E, o movimento delas é desordenado, não tem uma ordem ou certo, como eu posso dizer, não é que não tem uma trajetória certa, é que,

ela (falando das colisões azuis) tem uma trajetória, mas essa trajetória pode mudar a qualquer instante, como ela batendo na borda do recipiente ou chocando com outra molécula. (Nível 4).

No nível 5, verificamos que L6G₁ atentou mais às regras do jogo, para explicar as razões que o levaram a desenhar as trajetórias no desenho 19; no entanto utilizou termo do senso comum, como “acertar”, para se referir às colisões entre as partículas. Observe sua fala:

L6G₁: Bom, não sei se eu vou conseguir acertar todas, eu vou desenhar todas, quem sabe eu consiga! Bom, como vai ter um monte de partículas, é mais fácil se eu me defender eu acabar acertando alguma azul vinda para cima de mim e acertar. Talvez eu consiga até fazer um tanto razoável de pontuação.

Concluimos que a cada nível do jogo digital (objeto novo), L6G₁ foi desenvolvendo esquemas e assimilando os saberes adquiridos em cada nível (PIAGET, 1987). Confirmamos essa constatação ao analisarmos o quadro 34, as falas do participante e o desenho 19, como a mudança da posição da partícula vermelha, as previsões das primeiras colisões.

Concluimos que tanto as etapas construídas e os níveis do jogo digital foram importantes, porque proporcionaram ao participante pensar, refletir e emitir conceitos científicos e de senso comum quanto à categoria investigada, necessitando apenas reordenar melhor suas concepções.

Seguem, no quadro 37, categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L7G₁.

Quadro 37: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L7G₁

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO				
		Etapa 1A	Etapa 1B	Etapa 1C	Etapa 1D	--
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE	Discurso de gênero científico	--	--	--	--	--
		L7G ₁	L7G ₁	--	--	--
	Discurso próximo do gênero científico	L7G ₁	L7G ₁	--	L7G ₁	--
		--	--	--	--	--
	Discurso de senso comum	--	--	L7G ₁	--	--
		--	--	L7G ₁	L7G ₁	L7G ₁

Fonte: Dados da pesquisa

Na etapa 1A, apesar de percebemos uma linguagem coloquial na fala de L7G₁, também verificamos o emprego da palavra “desordenadas” que alude a uma compreensão próxima do aceito cientificamente da categoria investigada. Observe na fala da participante, quando justificou suas razões para desenhar as trajetórias das partículas no desenho 07:

L7G₁: Elas vão ficar tudo desordenadas, professora. Essas setinhas são para indicar que elas estão mudando, eu acho que elas (falando das partículas) vão ficar tudo louca e preencher todo o espaço. Eu acho que elas não vão ficar todas ordenadas. Não sei por quê! (Etapa 1A).

No final dessa fala, L7G₁ ainda revelou não saber por que as partículas vão ficar desordenadas. Esse dado, foi confirmado quando a questionamos a respeito dos motivos das partículas irem para lá ou para cá no sistema. Perceba:

L7G₁: Porque elas são atraídas pelas extremidades daí, no caso da parede. Mas, no caso do jogo, não sei se seria a parede! (Etapa 1A).

Nessa resposta, L7G₁ demonstrou que a movimentação das partículas no sistema se deve à atração, mas no jogo não soube explicar o motivo, necessitando reelaborar melhor suas ideias quanto a essa questão.

Na etapa 1B, L7G₁ novamente utilizou o termo “desordenadas”, para justificar suas razões, para desenhar as trajetórias das partículas (desenho 07). Porém presenciamos um discurso próximo do científico, uma vez que sua fala, eu acho, remete à incerteza. Veja:

L7G₁: Eu acho que elas vão ficar tudo desordenadas de novo, porque elas estão tudo bonitinha, vão ficar soltas. (Etapa 1B).

Esse resultado, também foi verificado quando questionamos L7G₁ sobre os motivos das partículas irem para lá ou para cá no sistema, ou seja, além de ter utilizado saberes que não condizem com a TCG, também revelou incerteza. É o que indica sua fala:

L7G₁: Porque umas são mais atraídas e outras não!? Ou não tem nada a ver com interação!?

Na etapa 1C, L7G₁, ao justificar suas razões para desenhar as trajetórias das partículas (desenho 07), observamos enunciados de senso comum. Perceba em sua fala:

L7G₁: Porque elas estavam organizadas, separadas, tipo, um negócio de um lado e outro negócio do outro. Só que, no momento que apertar começar, para mim, eu acho que elas (falando das partículas) vão se dissipar tudo junto, vão se misturar. Daí você vai perder o controle, não vai saber o que é um e o que é o outro.

Na etapa 1D, L7G₁, empregou novamente palavras próximas do científico, ao justificar suas razões para desenhar as trajetórias das partículas no desenho 07. Observe:

L7G₁: Eu acho que vai ter uma desorganização total. Agora pior! (Etapa 1D).

Apesar de a participante revelar não ter certeza quanto ao que fala, revelou compreender que, devido à inserção de mais uma partícula, a desorganização vai ser pior. Veja:

L7G₁: Porque tem dois tipos de partículas diferentes do que o primeiro. (Etapa 1D).

L7G₁: É, na verdade, tinha já esse (aponta para o vermelho). Agora tem o azul e o verde a mais. Isso se for comparar com o primeiro. Se não, eu tenho três coisas. (Etapa 1D).

No nível 1 do jogo digital, L7G₁ elucidou o conceito de aleatoriedade, ao responder sobre suas razões para ilustrar as trajetórias no desenho 20, conforme sua resposta:

L7G₁: Porque elas (falando das azuis) ééé (pensando), ficam desordenadas, né. Aí, eu imagino assim, eu vou tentar levar uma bolinha, de repente tem uma partícula né laranja que vai vim na minha direção. Daí eu vou tentar me esquivar para tentar chegar mais próximo possível da azul que vai estar se movimentando também. Então, eu acho que elas vão estar bem dispersas, mais ou menos assim (mostrando o seu desenho). (Nível 1).

A jogadora, no nível 1, além de ter se atentado às regras do jogo, utilizou palavras científicas e de senso comum, revelando corretamente a categoria investigada. Esse resultado é confirmado na fala de L7G₁, ao responder por que iniciou no desenho 20, nível 1, a primeira trajetória, colisão:

L7G₁: Porque eu acho que a princípio elas estão ordenadas, mas elas vão desordenar. (Nível 1).

No nível 2 do jogo digital, percebemos que L7G₁ outra vez utilizou termos científicos, como “desordenada”, para explicar suas razões de ilustrar as trajetórias no desenho 20. As falas abaixo comprovam tal fato:

L7G₁: Aiii, o mesmo sistema, pelo fato dela (falando das partículas do jogo) estar ordenada e desordenada. E, agora eu acho que, por ter aumentado o número de partículas eu acho que vai ser mais difícil, né. Então, daí eu fui meio que direcionado assim (mostrando o seu desenho) e me esquivando das partículas laranja. (Nível 2).

No nível 3, verificamos que L7G₁ atentou mais às regras do jogo, como o aumento da quantidade de partículas no jogo, em não colidir com as partículas azuis, utilizando palavras como “colidir”, “colisão”, revelando um senso comum quanto à categoria investigada. Observe:

L7G₁: Bom, por ter muita bolinha, né, muita partícula no sistema, eu tentei (pensando) imaginar onde as bolinhas azuis estivessem mais (pensando), livres das bolinhas laranja né, que seria no momento em que eu levaria a bolinha vermelha para colidir. Daí, no caso, por exemplo, a colisão de nº 4 seria uma bolinha difícil porque tem uma quantidade de bolinha laranja maior em volta, eu teria mais dificuldade de chegar ali. Assim, como a colisão de nº 12, por estar mais longe. (Nível 3).

No nível 4, L7G₁ utilizou novamente enunciados de senso comum, “colidir”, ao explicar as razões que a levaram a desenhar as trajetórias das partículas no desenho 20. Perceba:

L7G₁: Como agora tem mais bolinhas, eu vou tentar colidir ao máximo com as azuis no lado delas (falando do lado esquerdo) antes que as bolinhas laranja cheguem e me acertem (risos). (Nível 4).

Percebemos, nessa fala do nível 4, que a jogadora foi criando esquemas, conforme Piaget, ou seja, foi assimilando os níveis anteriores para ilustrar as trajetórias e responder as perguntas que lhe foram efetuadas.

O fato descrito acima, também foi constatado na fala de L7G₁ quando respondeu a respeito das suas razões de ter ilustrado as trajetórias no desenho, no nível 5 do jogo digital. Como descrito em suas respostas:

L7G₁: Bom, aumentou muito a quantidade, né, de partículas de ambas as partes; então, agora estão mais perigosas. Mas eu pensei no mesmo princípio de antes, né, na numeração das bolinhas azuis.

Verificamos, a cada nível do jogo digital (objeto novo), a combinação de esquemas e estratégias utilizadas por L7G₁ tanto para propor as trajetórias nos desenhos como para explicar a categoria investigada (PIAGET, 1987).

Concluimos que tanto as etapas construídas e os níveis do jogo digital foram importantes, porque proporcionaram a participante desenvolver esquemas e assimilar os saberes presentes em cada nível, propiciando-lhe pensar, refletir e emitir conceitos científicos e de senso comum, quanto a categoria investigada, necessitando apenas reelaborar melhor o emprego das palavras para termos cientificamente aceitos.

As etapas construídas do jogo digital foram importantes porque proporcionaram a verificação, conforme Piaget (2012), da capacidade de L7G₁ em pensar, refletir e explicar o conceito de aleatoriedade, necessitando apenas reelaborar melhor o conceito investigado, para assim proferir uma linguagem científica da teoria cinética dos gases.

A seguir, apresentamos as análises do conceito de aleatoriedade do grupo 02.

6.4.2 Grupo 02: Conceito de aleatoriedade – etapas e níveis do jogo digital

As análises e discussões de cada unidade de registro foram realizadas individualmente, seguindo a ordem das etapas e dos níveis do jogo digital. Para isso, também organizamos consecutivamente, em quadros distintos, as unidades de registro de cada participante, conforme o seu código de identificação.

Seguem, no quadro 38, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L8G₂.

Quadro 38: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L8G₂

CATEGORIA	SUBCATEGORIA	UNIDADES DE REGISTRO				
		Etapa 1A	Etapa 1B	Etapa 1C	Etapa 1D	--
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE	Discurso de senso comum	L8G ₂	L8G ₂	L8G ₂	L8G ₂	--
		L8G ₂	L8G ₂	L8G ₂	L8G ₂	L8G ₂

Fonte: Dados da pesquisa

No quadro 38, L8G₂, apresentou discursos de senso comum nas etapas 1A, 1B e 1C, ao responder quais foram as suas razões para ter ilustrado as trajetórias no desenho 08, como verificamos nas respostas abaixo:

L8G₂: Eu acho que é o jeito como elas estão. Não sei! Não sei dizer! Na verdade, eu quis desenhar elas subindo, batendo. (Etapa 1A).

L8G₂: A posição em que elas estão, elas estão umas de frente com as outras, vai haver uma interação, elas vão se espalhar, (risos). (Etapa 1B).

L8G₂: Eu acho que elas (falando das partículas) vão se misturar. (Etapa 1C).

No discurso da etapa 1B, observamos outros saberes que não condizem com o conceito de aleatoriedade, como interação entre as partículas. Para L8G₂, essa interação é referente às atrações que podem ocorrer entre as partículas, como indica sua resposta:

L8G₂: Elas (falando das partículas) vão se atrair, algumas não. (Etapa 1C).

Essa concepção apresentada pela participante, de atração entre as partículas, é confirmada no desenho 08, etapa 1C, ou seja, ilustrações de partículas aos pares. Mas constatamos que L8G₂ não tem certeza quanto a isso, como indica sua resposta:

L8G₂: Não. Ah, acho que sim! Ah, não sei! (Etapa 1C).

Percebemos essa concepção de atração entre as moléculas também nas respostas de L8G₂ a respeito dos motivos de as partículas irem para cá ou para lá no sistema:

L8G₂: Forças interativas, forças intermoleculares também, está ocorrendo repulsão e atração, algumas se juntam. (Etapa 1A).

L8G₂: Ah, sei lá! Silêncio (pensando). (Etapa 1B).

L8G₂: Silêncio. (Etapa 1B).

L8G₂: Elas estão se atraindo, as cores diferentes, três cores diferentes. (Etapa 1D).

Assim, na etapa 1D, se manteve na subcategoria discurso de senso comum, pois levou em consideração as etapas anteriores para construir o desenho 21, etapa 1D. Isso pode ser confirmado em suas respostas:

L8G₂: Eu acho que elas (falando das partículas) vão ficar mais grudadinhas. Eu acho que elas estão mais comprimidas. Tem menos espaço para elas se moverem. Então, eu acho que elas vão se mover mais lentamente e não vão mudar tanto assim, no espaço. (Etapa 1D).

L8G₂: É. Vai acontecer a mesma coisa que as outras (falando das etapas anteriores), umas vão se atrair e outras não. (Etapa 1D).

Até esse momento, o contexto proposto nas etapas nos proporcionou observar nos discursos de L8G₂ saberes de senso comum, para explicar a aleatoriedade e assuntos que não dizem respeito ao assunto investigado.

Nos níveis do jogo digital, a participante respondeu que estudou o conteúdo de teoria cinética dos gases, em físico-química 1, teoria dos gases reais e ideais, um pouco de termodinâmica e, em físico-química 2, os fatores que afetam a velocidade das reações. Assim, a participante teve a oportunidade de conhecer novos saberes atrelados ao assunto investigado.

No entanto ainda se manteve na subcategoria discurso de senso comum, porque verificamos o emprego das palavras “espalhar”, “bater”, “misturadas”, “espalhadas”, “colisões”, “aglomeradas”, para justificar suas razões de ter desenhado as trajetórias das partículas no desenho 2l. Observe suas respostas:

L8G₂: Acho que eu fiz a mais bolinhas, mas (pensando), ah, na verdade eu fui imaginando o jogo, elas vão vir (mostrando as partículas azuis no desenho), daí elas vão começar a se espalhar, batem e voltam (mostrando as laterais do desenho). E aí a bolinha vermelha como está aqui (mostrando o meio do desenho) é aonde vai à trajetória, umas vão estar aqui em baixo (mostrando a 1ª colisão no desenho) daí elas batem na parede, umas vão estar aqui em cima (mostrando a 3ª colisão no desenho). E as bolinhas vão ficar todas juntas, misturadas assim, as laranjas (mostrando o seu desenho). (Nível 1).

L8G₂: Eu quis desenhar o início do jogo. Como elas vão começar a se movimentar, aí, como as trajetórias e as colisões são meio difícil de fazer, senão, vão ficar muitas bolinhas aqui (falando das movimentações das partículas no jogo), aí eu tentei fazer todas as colisões de alguma forma na sequência que eu achei (pensando), porque essas aqui (falando das laranjas) vão demorar para chegar ao meio. (Nível 2).

L8G₂: Eu também fiz o início do jogo. Primeiro elas ficam bem mais aglomeradas para lá (falando do lado esquerdo do jogo) e depois elas (falando das partículas do jogo) começam a se espalhar. Aí, as colisões, as primeiras vão ocorrer mais por aqui (apontando as colisões 1, 2, 3, 4, 5, 6 no desenho). E aí, conforme for o jogo, conseguindo as maiores colisões por aqui (apontando as colisões 9, 11, 12 no desenho) e depois as outras vão ficar mais espalhadas (apontando as colisões 10, 13, 14 no desenho). (Nível 3).

L8G₂: Eu acho que no início elas vão ficar aqui (mostrando no desenho as colisões 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 no desenho) por bastante tempo. Mas algumas vão se espalhar (mostrando no desenho as colisões 10, 9, 11). Aí, conforme vai indo (falando do jogo) elas vão se espalhando. Aí, eu deixei algumas em branco porque eu acho que eu não vou conseguir atingir todas (falando das azuis). Só algumas, conforme o tempo porque tem que desviar (falando das laranjas) também. E, tentar pegar (falando das colisões com as azuis) o máximo no começo, por isso eu desenhei mais colisões aqui (falando das primeiras colisões). (Nível 4).

L8G₂: As mesmas que os outros. No começo elas ficam mais aglomeradas as azuis e as laranjas também. Algumas vêm, mas, elas demoram um pouco (pensando). Apesar de que agora tem bastante! Eu não sei como vai ser! Se elas vão se espalhar bem mais rápido! (Nível 5).

Nas respostas acima, verificamos algumas das principais razões que a participante levou em consideração para prever as trajetórias no desenho 2l, como a disposição e o movimento das partículas no início do jogo digital, priorizando o lado esquerdo para ter uma maior probabilidade de efetivar as colisões e, depois, desviar das partículas laranja.

Outro fato analisado foi a construção de esquemas desenvolvidos pela jogadora, pois falou ter levado em consideração a vivência do jogo para mudar o modo de ilustrar as trajetórias das partículas no desenho 2l, nível 3. Veja:

L8G₂: Ah, porque eu vi no nível 2 que algumas (pensando), elas (falando das partículas do jogo) começam com uma velocidade bem mais rápida. (Nível 3).

Concluimos, conforme Piaget (1987, 2012), que as aplicações dos níveis foram importantes porque oportunizaram a participante pensar, refletir, comparar e reorganizar a maneira de prever suas trajetórias de partículas nos desenhos 2l, como também constatado nas respostas dos níveis 3 e 5 do jogo digital.

Contudo, conforme o quadro 38, verificamos, durante as aplicações das etapas e dos níveis do jogo digital, que L8G₂ se manteve com discursos de senso comum. Por isso, precisa romper com algumas ideias apresentadas no contexto das etapas que não dizem respeito ao conceito de aleatoriedade e reelaborar melhor suas concepções de senso comum para apreender cientificamente o assunto investigado.

Seguem, no quadro 39, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L9G₂.

Quadro 39: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L9G₂

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO				
		Etapa 1A	Etapa 1B	Etapa 1C	Etapa 1D	--
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE	Discurso de gênero científico	--	--	--	--	--
		--	--	--	--	L9G ₂
	Discurso próximo do gênero científico	L9G ₂	L9G ₂	L9G ₂	L9G ₂	--
		--	--	--	--	--
	Discurso de senso comum	--	--	--	--	--
		L9G ₂	L9G ₂	L9G ₂	L9G ₂	--

Fonte: Dados da pesquisa

No quadro 39, verificamos que L9G₂ se manteve com o mesmo discurso a cada nova experiência proposta nas etapas. Assim, apresentou discursos próximo do gênero científico, ao responder quais foram as suas razões para ilustrar as trajetórias no desenho 09, como podemos perceber em suas respostas:

L9G₂: Esse espaço livre aqui (mostrando o lado direito no desenho), elas (falando das partículas) vão ir tudo para lá porque como é cinética dos gases vai completar todo o espaço. (Etapa 1A).

L9G₂: Eu acho que vai ficar a mesma coisa que o outro (falando da etapa 1A), é tudo espalhado porque está em ordem, mas vai ficar igual (completar todo o espaço como na etapa 1A). (Etapa 1B).

L9G₂: Eu acho que vai misturar, né, vai espalhar tudo, cada um vai para uma direção. (Etapa 1C).

L9G₂: Vai misturar tudo, não vai ficar o azul tudo junto ou o vermelho tudo junto, pois é tudo gás mesmo, vão se misturar mesmo. (Etapa 1D).

Conforme Piaget (1974, 1987, 2012), notamos que L9G₂ levou em consideração os conhecimentos adquiridos no contexto de aplicação das etapas, construindo e assimilando esquemas para prever suas trajetórias no desenho 09, como indica sua resposta da etapa 1B.

Outro fato esclarecido por L9G₂ foi com relação às partículas ilustradas próximas no desenho 09, etapa 1C. Conforme sua resposta, elas se referem:

L9G₂: É o choque, a aproximação. (Etapa 1C).

Assim, nas respostas acima de L9G₂, consideramos tal subcategoria porque complementou com o emprego de palavras de senso comum outros conhecimentos pertinentes ao assunto investigado, como ‘*completar todo o espaço*’ e ‘*cada um vai para uma direção*’.

Confirmamos a subcategoria discurso próximo do gênero científico nas falas das três primeiras etapas de L9G₂, ao responder os motivos das partículas irem para lá ou para cá no sistema:

L9G₂: Os movimentos, elas (falando das partículas) vão batendo, o gás não tem uma direção é tudo espalhado, bagunçado. (Etapa 1A).

L9G₂: Porque é um gás, né! Vai bater nas paredes e tomar direções diferentes, não tem direções fixas. (Etapa 1B).

L9G₂: Elas (falando das partículas) vão se movimentar em qualquer direção, então, não quer dizer que a verde, por exemplo, como ela está desse lado não quer dizer que ela vai se movimentar reto, ela pode se movimentar para direita para esquerda, baixo, para cima, a vermelha também. Então, elas vão começar a se misturar. (Etapa 1C).

Segundo a teoria cinética dos gases, “as moléculas têm trajetórias retilíneas e colidem entre si e com as paredes do recipiente em que estão. [...]. O movimento molecular dentro do recipiente que contém a amostra é completamente aleatório, e todas as direções da velocidade são igualmente prováveis” (MAIA; BIANCHI, 2007, p. 160.). E, L9G₂ revelou compreender esse aspecto nas etapas do jogo.

Na aplicação dos níveis do jogo digital, foi perguntado novamente ao participante se ele havia estudado o conteúdo de teoria cinética dos gases; falou que estudou em físico-química 2, cinética química, velocidade, diagrama de fases, soluções. Portanto, teve a oportunidade de conhecer novo saberes.

Conforme o quadro 39, o participante apresentou discursos de senso comum nos quatro primeiros níveis do jogo digital, como observamos em suas respostas:

L9G₂: Bom, eu comecei aqui (mostrando a 1ª colisão no desenho) porque está mais perto de onde ela saiu (falando da azul na fileira), então, ela vai bater na parede e voltar. Depois, vou pegar a 2ª e 3ª (falando das colisões no desenho). E a 4ª e a 5ª (falando das colisões) ficam mais longe; aí, eu vou buscar elas no canto porque elas já passaram para lá, para o lado direito. (Nível 1).

L9G₂: Ééé (pesando) por causa do movimento mesmo, elas (falando das partículas do jogo) vão ficar batendo, vai bater nas paredes e voltar. E essas aqui (falando das colisões 7, 8, 9 e 10) como vão ser as últimas (falando das colisões), vão vir e vão bater e voltar também. (Nível 2).

L9G₂: A mesma coisa. Bater, todas aqui (falando das azuis que estão do lado esquerdo no início do jogo), tipo assim, (falando das colisões 9, 11 e 13 e mostrando no desenho com a flecha o sentido depois da colisão) essa aqui vai bater aqui, essa aqui vai bater aqui, vai bater aqui e vai voltar. A laranja alguma só estão voltando porque bateu lá do outro lado. Então já estão voltando e outras estão indo. Tem bastante diagonal (falando das flechas em diagonal) porque bateu nas diagonais, né. E bateu a azul com a laranja também. (Nível 3).

L9G₂: Conforme a maneira que eu vou batendo nas bolinhas (falando das azuis), a vermelha vai estar aqui (mostrando a partícula vermelha próxima a 1ª colisão), eu bato na primeira (falando da azul) e ela vem para cá (mostrando com a flecha o sentido da 1ª colisão). A segunda vai estar próxima, eu vou batendo, do jeito que elas vão batendo elas vão se desviando, né. Daí, a nove (falando da colisão de nº 9) vai vir para cá, (mostrando o sentido com a flecha para o lado direito) eu vou ter que correr atrás delas e não ir ao encontro delas. Aí, eu vou bater sempre em direção oposta à direção em que elas vão estar. (Nível 4).

De modo contrário ao exposto acima, no último nível, verificamos uma concepção correta de L9G₂ do conceito de aleatoriedade quando respondeu quais foram as suas razões para ilustrar as trajetórias no desenho 22, nível 5 e, depois, o que significavam as setas ilustradas junto às partículas nos quatro níveis do desenho 22, como revelam suas respostas:

L9G₂: É que vai batendo aqui (mostrando no desenho com as flechas o sentido das partículas do jogo depois das colisões) e vai ficando assim. Umas eu vou pegar indo outras voltando (falando das colisões com as azuis). (Nível 5).

L9G₂: Porque vai variar né, vai ir em várias direções (falando dos sentidos das partículas no desenho). (Pensando) é que é aleatório né. Vai bater e mudar a direção. (Nível 5).

Conforme o quadro 39, o contexto proposto nas etapas favoreceu L9G₂ utilizar discursos mais próximo do gênero científico do que nos níveis do jogo digital. Esse fato pode ter ocorrido devido às regras do jogo, como muito enfatizado em suas respostas dos níveis 1, 2, 3, 4 e 5.

Finalmente, com base na fundamentação teórica, concluímos que os contextos propostos foram importantes porque nos favoreceu investigar a manutenção de respostas de L9G₂, criar esquemas, assimilar e levar os saberes anteriores, para explicar e entender o que observou nas simulações das etapas e dos níveis do jogo. Revelou assim, no nível 5 do jogo, uma concepção correta do conceito de aleatoriedade, necessitando apenas reelaborar melhor suas palavras de senso comum para falar a respeito do assunto.

Seguem, no quadro 40, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L10G₂.

Quadro 40: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L10G₂

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO				
		Etapa 1A	Etapa 1B	Etapa 1C	Etapa 1D	--
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE	Discurso de gênero científico	--	--	--	--	--
		--	--	--	--	L10G ₂
	Discurso de senso comum	--	--	--	--	--
		L10G ₂	L10G ₂	L10G ₂	L10G ₂	--
	Discurso não elucidativo	L10G ₂	L10G ₂	L10G ₂	L10G ₂	--
		--	--	--	--	--

Fonte: Dados da pesquisa

Segundo o quadro 40, L10G₂, apresentou discursos não elucidativos, ao responder quais foram as suas razões para ilustrar as trajetórias no desenho 10. Verifique suas respostas:

L10G₂: Eu acho que é isso, elas (falando das partículas) vão se agrupar, são todas iguaizinhas. Não sei por quê! (Etapa 1A).

L10G₂: Agora eu lembrei que são gases!!! Elas vão interagir. Não sei (risos). (Etapa 1B).

L10G₂: Boa pergunta! (Risos). Por quê? Eu não sei, professora! (Etapa 1C).

L10G₂: O mesmo do primeiro, (risos). (Etapa 1D).

Constatamos que, além de L10G₂ não ter elucidado o conceito de aleatoriedade, também revelou outros saberes que não lhe dizem respeito, como interagir. No caso da resposta da etapa 1C, perguntamos por que ilustrou as partículas juntinhas no desenho 10, etapa 1C. E ele não soube responder:

L10G₂: Sei lá! Eu não sei o que vai acontecer. (Etapa 1C).

Apesar de o participante relatar não saber o que iria acontecer após acionar o botão iniciar nas etapas, o contexto das etapas lhe proporcionou criar esquemas e os assimilou para ilustrar as partículas no desenho 1 da etapa 1D.

Contudo verificamos uma contradição da resposta acima, etapa 1D, pois, ao analisarmos o desenho 10 (etapas 1A e 1D), L10G₂ evoluiu ao ilustrar as partículas diferentemente nas duas etapas e, assim, para contestar sua resposta, perguntamos se na etapa 1A ele havia ilustrado as partículas como na etapa 1D. Ele revelou o seguinte:

L10G₂: Não, não. Eu não desenhei assim. Mas, eu vi o desenho aí, (risos). Eu vi o que ocorreu lá. (Etapa 1D).

L10G₂: É, (risos), porque o outro ficou assim, (risos). (Etapa 1D).

A subcategoria discurso não elucidativo foi mantida após o participante responder a respeito dos motivos das partículas irem para lá e para cá no sistema:

L10G₂: Não está havendo interação, ligação. Eu não lembro, são ligações? (Etapa 1A).

L10G₂: Eu não sei dizer, (risos). (Etapa 1B).

L10G₂: (Risos). Não sei. (Etapa 1C).

L10G₂: O espaço. (Etapa 1D).

Apesar de o participante não ter elucidado o conceito de aleatoriedade, os contextos propostos nas etapas lhe proporcionaram abstrair, pensar e reelaborar suas trajetórias de partículas, conforme notamos no desenho 10. L10G₂ precisa apreender o conceito investigado.

Na aplicação dos níveis do jogo digital, quando L10G₂ respondeu as razões de ter ilustrado as trajetórias nos níveis 1, 2, 3, 4, 5 (Desenhos 23), verificamos que, apesar de ter se mantido na subcategoria discurso de senso comum nos quatro primeiro níveis, no último nível saltou para a subcategoria discurso de gênero científico, porque empregou a palavra desordenada, como indicam suas respostas:

L10G₂: É, eu achei que ia espalhar (partículas) todas no determinado volume. Não sei! (Nível 1).

L10G₂: Ah, devido ao espaço ser menos (pensado), eu vou vir (falando do lado esquerdo) de uma forma melhor ordenada para haver as colisões (com as azuis). (Nível 2).

L10G₂: Ah, eu coloquei da mesma forma que no nível 2. Primeiro eu fui colidindo com as azuis, aí, aumentando a velocidade, as laranjadas começaram a se aproximar. Daí ficaram mais dispersas. (Nível 3).

L10G₂: Ainda está na mesma do outro nível, nível 3. Começando pelo canto superior (falando do lado esquerdo), tentando o maior número possível das azuis (colisões), enquanto as laranjadas não se aproximaram. Aí, depois (falando das colisões obtidas) foi na bagunça mesmo (risos). As que davam para pegar (risos). (Nível 4).

L10G₂: É, pelo grau de dispersão das moléculas, porque tem bastante agora (risos), vai aumentar a velocidade também (pensando); aí eu comecei pela mesma estratégia, pelo canto superior (lado esquerdo) que tem mais bolinhas azuis. E o resto (falando das colisões das partículas azuis) foi de maneira desordenada mesmo. (Nível 5).

Conforme quadro 40, os contextos propostos foram importantes porque nos favoreceram investigar uma evolução nos discursos de L10G₂ visto que não elucidou o conceito de aleatoriedade durante a aplicação das etapas. No entanto verificamos, no nível 5 de aplicação do jogo, um discurso de gênero científico de L10G₂. Concluímos que L10G₂ levou em consideração as experiências vivenciadas nas etapas e nos níveis do jogo, refletiu sobre seus esquemas prévios, construiu novos esquemas (assimilação) e os acomodou, para explicar o conceito de aleatoriedade. Entretanto intuímos ser necessário L10G₂ reelaborar melhor seus discursos de senso comum, para elucidar cientificamente o conceito de aleatoriedade.

Seguem, no quadro 41, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L11G₂.

Quadro 41: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L11G₂

CATEGORIA	SUBCATEGORIA	UNIDADES DE REGISTRO				
		Etapa 1A	Etapa 1B	Etapa 1C	Etapa 1D	--
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE	Discurso de senso comum	L11G ₂	L11G	L11G ₂	L11G ₂	--
		L11G ₂	L11G ₂	L11G ₂	L11G ₂	--

Fonte: Dados da pesquisa

Diante do quadro 41, L11G₂, se manteve na subcategoria discurso de senso comum em todo o contexto de aplicação das etapas, pois verificamos o emprego de palavras como “bater”, “espalhar”, “chocar”, “misturar”, ao responder quais foram as suas razões para ilustrar as trajetórias no desenho l1.

Nas etapas 1A e 1B, verificamos nas respostas do participante uma percepção da disposição das partículas no início da simulação, pois, conforme a figura 05, as 35 partículas na etapa 1A estão ilustradas do lado esquerdo em desordem e, na etapa 1B, nas linhas horizontais ou verticais, como indicam suas respostas:

L11G₂: Porque se elas (falando das partículas) vão se movimentar, elas vão se bater. Então elas vão se propagar e vão ficar indo de um lado e para o outro. Elas vão bater no canto e voltar, bater no canto e voltar. Então elas vão se espalhando e se chocando. (Etapa 1A).

L11G₂: Como elas (falando das partículas) estão em linhas, a ordem que elas vão bater, elas vão bater mais iguais. Então eu acredito que elas vão se bater mais organizadas. Então, elas não vão desorganizar tanto igual estavam antes. (Etapa 1B).

Percebemos na fala da etapa 1B que a disposição inicial das partículas no início da simulação levou o participante a pensar em partículas se chocando mais em ordem. Na etapa 1C, L12G₂ rompeu com esse pensamento, porque não o verificamos mais em suas respostas.

L11G₂: Porque elas (falando das partículas) vão se misturar! Então, elas vão se chocar e se misturar. E, como elas estão em linhas igual no outro processo, umas vão se agarrar e outras vão se chocar e vão dar uma continuidade. Depois elas vão se misturar com as outras. Eu acredito que aconteça isso. (Etapa 1C).

L11G₂: Tem o procedimento das outras etapas que eu fui vendo, eu fui vendo a organização das células. Então, eu acredito que todas as bolinhas vão começar meio agrupar meio parecido com outros. Mesmo que tenham cores diferentes, mas o processo dela é todo. E, como elas estão próximas, às vezes elas não se movimentem tanto, mas elas vão se bater mais; então, a proximidade faz elas se baterem mais. Mas eu acredito que vai movimentar e misturar tudo de novo. E eu acho que a velocidade com que elas vão se chocar também vai ser maior e pode andar mais. (Etapa 1D).

Conforme Piaget (1974, 1987, 2012), notamos que L11G₂ levou em consideração os conhecimentos adquiridos no contexto de aplicação das etapas, como resposta da etapa 1D; sendo assim, construiu esquemas e os assimilou, para prever suas trajetórias no desenho 11.

A subcategoria discurso de senso comum foi mantida quando o participante respondeu a respeito dos motivos das partículas irem para cá e para lá no sistema. Confira:

L11G₂: Elas iam se chocar, elas iam se bater. Daí, quando chegassem à parede, elas iam se bater e iam se propagando. (Etapa 1A).

L11G₂: Porque elas (falando das partículas) estão se chocando também, elas acabam depois acontecendo como no primeiro sistema (falando da etapa 1A). Ao se chocarem, elas vão mudando. Mas, elas estão mais agrupadas, estão se batendo mais e mais juntas em relação ao primeiro. (Etapa 1B).

L11G₂: É, de movimento, elas começam meio organizado que estavam em linhas. E depois elas se expandem e elas tendem a ficar se agrupando, geralmente duas; aí depois solta, junta e bate. Entendeu? Só que agora você tem dois tipos. (Etapa 1C).

L11G₂: Por causa disso, eu acho que uma choca e empurra. Se a gente for analisar, por exemplo, em moléculas e átomos, há polo. Então, às vezes ela choca com um lado positivo e outro negativo, pode ser isso. Então, como elas chocam com lado positivo e negativo, elas se atraem e, quando uma bate com lado negativo e negativo, elas se repelem, elas podem ir para longe, é uma das hipóteses! (Etapa 1D).

Até esse momento de aplicação das etapas, podemos concluir que o participante, além de ter utilizado palavras de senso comum para explicar o conceito de aleatoriedade, também revelou, na resposta da etapa 1D, saberes que não condizem com a investigação. Assim, para verificar sua concepção de lado positivo e negativo nas moléculas, perguntamos se notou alguma relação entre as etapas. Observe sua resposta:

L11G₂: Eu acho a relação é de choque entre as bolinhas em que pode haver cargas, daí uma atrai a outra. E, só foi acrescentando outros tipos de cores, mas que não interfere, só muda a cor. (Etapa 1D).

Na aplicação dos níveis do jogo, L11G₂ também se manteve na subcategoria discurso de senso comum, pois empregou termos de senso comum para explicar as razões que o levaram a desenhar as trajetórias das partículas no desenho 24. Alguns dos termos empregados nos níveis do jogo diferem dos empregados no contexto das etapas, como “acertar”, “pegar”, “rotas”, “balançar”, “colidir”, conforme verificamos nestas respostas:

L11G₂: Porque eu vou imaginar eu indo correndo atrás da bolinha azul, né. Eu vou ir atrás delas (falando das azuis) e desviando das outras (falando das laranjas) porque vai balançar para tudo quanto é lado. (Nível 1).

L11G₂: A razão foi que eu tenho que ir ao encontro das azuis. Então, como não tem como ficar mostrando a vermelha onde ela vai estar e eu não sei. Está tudo se movendo. Eu fiz uma trajetória das possíveis rotas que eu vou fazer para poder ir ao encontro das azuis fugindo das laranjas. (Nível 2).

L11G₂: A proximidade entre as bolas onde eu estou e onde eu vou acertar as próximas. Apesar de que essa aqui ficou longe (falando da 15ª colisão). É porque às vezes você não enxerga. Você está preocupada com outras (falando das azuis) e acaba se esquecendo de uma (falando das laranjas). Por isso, eu tive que pegar sair e pegar essa aqui (falando da última colisão). (Nível 3).

L11G₂: Agora complicou (risos), são muitas bolinhas. Eu vou para cima e esperar que as azuis cheguem perto para acertar o máximo no início, sem que as laranjas cheguem logo. De novo, eu fiz as possíveis trajetórias porque no jogo eu não sei se eu vou conseguir fazer isso (risos): colidir com todas (risos). É muita bolinha laranja (risos). (Nível 4).

O fato de L11G₂ ter utilizado termos diferentes nas respostas dos níveis do jogo pode ter ocorrido devido às regras do jogo.

Conforme o quadro 41, L11G₂ se manteve na subcategoria discurso de senso comum e apresentou outros saberes, como “cargas entre as partículas” nas etapas. Os contextos propostos foram importantes porque nos favoreceram investigar a necessidade de L11G₂ rever e reelaborar melhor seus saberes, para elucidar cientificamente o conceito de aleatoriedade.

Seguem, no quadro 42, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L12G₂.

Quadro 42: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L12G₂

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO				
		Etapa 1A	Etapa 1B	Etapa 1C	Etapa 1D	--
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE	Discurso de gênero científico	--	--	--	L12G ₂	--
		--	--	--	--	--
	Discurso próximo do gênero científico	--	--	--	--	--
		--	--	L12G ₂	L12G ₂	--
	Discurso de senso comum	L12G ₂	L12G ₂	L12G ₂	--	--
		L12G ₂	L12G ₂	--	--	--
	Discurso não elucidativo	--	--	--	--	--
		--	--	--	--	L12G ₂

Fonte: Dados da pesquisa

Segundo o quadro 42, L12G₂ se manteve na subcategoria discurso de senso comum nas etapas 1A, 1B e 1C, ao responder quais foram as suas razões para ilustrar as trajetórias no desenho 12. Observe suas respostas:

L12G₂: É que ele (falando do gás) ia ocupar todo o volume, as moléculas vão ocupar todo o volume. (Etapa 1A).

L12G₂: Eu acho que vai acontecer a mesma coisa. Eu acredito que seria espalhado também porque, a não ser fosse levar em consideração o gás real, porque, apesar de que eu acredito que também vai estar espalhado, mas vai ter uma interação entre elas (falando das partículas) também, no ideal a gente despreza essa interação. Apesar de que ali na primeira etapa ocorreu essa interação, as interações intermoleculares. (Etapa 1B).

L12G₂: Pelo o que eu entendi são dois gases, e eles vão se dispersar entre si. (Etapa 1C).

Nas falas acima, percebemos um pensar e refletir de L12G₂ para entender e explicar o que fala; assim, na etapa 1A, apesar de ter revelado saberes inerentes aos gases, não elucidou o

assunto investigado. Contudo o participante, ao elucidar suas razões de ter ilustrado as trajetórias no desenho 12, etapa 1D, nos revelou sua correta concepção de aleatoriedade:

L12G₂: São três gases e eles vão se dispersar aleatoriamente, por isso eu desenhei um perto do outro; eles vão colidir um com outro com a parede; a única coisa que muda é a presença de gases diferentes. (Etapa 1D).

O participante também confirmou sua correta concepção do conceito de aleatoriedade, ao responder a respeito dos motivos das partículas irem para lá e para cá no sistema:

L12G₂: Porque deve estar levando em consideração também um gás ideal, em que as colisões são elásticas, então, ela não perde energia. (Etapa 1A).

L12G₂: Eu acho que é igual a etapa anterior, porque deve estar levando em consideração um também gás ideal, em que as colisões são elásticas, então, ela não perde energia. (Etapa 1B).

L12G₂: Eu continuo com o mesmo conceito anterior, teoricamente a gente estaria levando em consideração como se fosse um gás ideal, que ele não perde energia nas colisões elásticas; por isso, que ele vai percorrer todo o espaço. (Etapa 1C).

L12G₂: Eu acredito que sejam as mesmas explicações das anteriores. (Etapa 1C).

Nas falas acima, o participante manteve sua fala corretamente a respeito do tipo das colisões elásticas que ocorrem na simulação das etapas segundo a teoria cinética dos gases, ou seja, “[...] tanto o choque de moléculas contra moléculas quanto o de moléculas contra as paredes do recipiente que contém o gás são considerados perfeitamente *elásticos* e obedecem a lei de Newton [...]” (CARUSO; OGURI, 2006, p. 67, grifo do autor).

Conforme o quadro 42, podemos perceber que os contextos propostos nas etapas foram importantes, porque nos proporcionaram verificar a evolução de L12G₂ em utilizar palavras de senso comum para um discurso de gênero científico, a fim de entender e explicar o conceito de aleatoriedade.

Na aplicação dos níveis do jogo, L12G₂ divergiu nos vários discursos. Nos níveis 1 e 2, apresentou discursos de senso comum, ao explicar as razões que o levaram a ilustrar as trajetórias das partículas no desenho 25. Confira suas respostas:

L12G₂: Bom, é, eu imagino que, conforme elas vão colidindo, você liberou o jogo; elas vão colidir com a parede, né, e a tendência é vir para os lados. Então, essas é a ideia, de como elas (falando das partículas do jogo) vão estar em movimento, colidem com a parede e vão colidindo. (Nível 1).

L12G₂: Ééé, questão da laranja também vai estar se dispersando. Aí, então, eu tenho que estar sempre buscando, porque elas (falando das partículas do jogo) vão estar em movimento, né. Então, elas (falando das partículas do jogo) não vão estar no mesmo lugar, todas. Só a vermelha que eu controlo. (Nível 2).

Nos níveis 3 e 4, percebemos que o jogador reelaborou suas ideias, porque apresentou um discurso mais próximo do gênero científico, como indicam suas falas:

L12G₂: Bom, seria uma ideia para conseguir colidir com todas, né, tentando prever o caminho que elas iriam fazer, sem ter certeza, né. Então, eu propus essa trajetória (falando do seu desenho), mas provavelmente eu não a faça cem por cento. Talvez o início e o fim, eu não sei, aí depende da posição que elas (falando das partículas do jogo) iriam estar. (Nível 3).

L12G₂: Bom, aqui agora eu pretendo ir devagarzinho, né (falando da movimentação da partícula vermelha). Então, seria mais fácil prever uma trajetória, mas não necessariamente que eu vou colidir. Então, a minha ideia é ir devagar para tentar fazer um abalo menor aqui no sistema (falando e mostrando o seu desenho) e ir colidindo com todas. (Nível 4).

Nos discursos acima, L12G₂ reportou-se sucintamente o fato de não conseguir prever o caminho das partículas no jogo e, ainda, revelou ter percebido a movimentação das partículas, porque citou ir devagar, neste caso, com a sua partícula vermelha para não abalar o sistema. Assim, constatamos um aprendizado do participante quanto à estratégia proposta no jogo cinética química, colidir com menos impacto com as partículas azuis de modo a diminuir a velocidade no sistema.

No nível 5 do jogo, verificamos que o jogador atentou mais às regras do jogo para prever as trajetórias no desenho 25. Perceba esse fato:

L12G₂: É, tentar fugir, a ideia é fugir, sempre fugir. Sempre tentando fugir delas (falando das laranjas). A ideia é não deixar dar “game over”, mesmo sabendo que eu não vou atingir o objetivo. (Nível 5).

Conforme o quadro 42, os contextos das etapas foram importantes porque nos proporcionaram investigar a correta concepção de L12G₂ do conceito de aleatoriedade. No entanto não obtivemos o mesmo sucesso com os contextos de aplicação do jogo. Esse resultado pode ter ocorrido devido a fatores, como: o jogador ter se atentado às regras do jogo, a aplicação ter ocorrido depois de certo tempo das etapas, ansiedade em passar de nível.

Seguem, no quadro 43, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L13G₂.

Quadro 43: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L13G₂

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO				
		Etapa 1A	Etapa 1B	Etapa 1C	Etapa 1D	--
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE	Discurso de gênero científico	--	--	--	L13G ₂	--
		L13G ₂	L13G ₂	--	--	--
	Discurso próximo do gênero científico	L13G ₂	L13G ₂	--	--	--
		--	--	L13G ₂	L13G ₂	L13G ₂
	Discurso não elucidativo	--	--	L13G ₂	--	--
		--	--	--	--	--

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 43, L13G₂ apresentou um discurso próximo do gênero científico nas etapas 1A e 1B, ao responder quais foram as suas razões para ilustrar as trajetórias no desenho 13.

L13G₂: Eu acho que, como é um espaço bem amplo e como são moléculas de gases, a tendência é que o gás ocupe o volume do recipiente em que ele está contido; então, assim, as moléculas vão se espalhar pelo recipiente inteiro, elas vão em quase todas as direções para tentar se encaixar pelo volume do recipiente. As flechinhas seriam as direções em que a molécula ia; aí, no caso, por exemplo, como aqui só está nesse espaço a tendência é que ela vai se ocupando pelo recipiente inteiro aqui no caso, por exemplo, essa aqui ela vai vir para cá, essa daqui vai descendo, a outra vai subir e vir mais para cá, também vai haver colisões entre essas moléculas, então elas vão começar a trocar direções e tudo mais, mas a tendência é ocupar o volume inteiro. (Etapa 1A).

L13G₂: A tendência aqui é pode ser que algumas moléculas estejam indo para lá (falando do lado direito), alguma indo para lá (falando do lado esquerdo), outras descendo, outras subindo, então, assim, elas vão começar a se chocar entre si e depois tomar outras direções. Aí, no caso, por exemplo, essa aqui está vindo para cá e essa está descendo, aí temos outra aqui que vem para cá e outra que está descendo, por exemplo, então, indo aqui tipo essa daqui pode se chocar com essa outra aqui mais ou menos subindo, essa daqui vai continuar passando, essa daqui vai continuar, então, assim, com esse choque pode haver troca de direção depois e isso vai acontecendo no desenho inteiro, mais ou menos isso que eu acho. (Etapa 1B).

As falas das etapas 1A e 1B representam a subcategoria indicada, porque L13G₂ apresentou saberes os quais se aproximam do científico de aleatoriedade, ao revelar sua preocupação quanto às direções das partículas após as colisões. Pois, de acordo com a teoria cinética dos gases, “[...] a direção em que uma molécula se move é aleatória, ou seja, não há direção privilegiada para seus deslocamentos [...]” (CARUSO, OGURI, 2006, p. 67).

Na etapa 1C, com a inserção da partícula verde, verificamos um discurso não elucidativo do participante, porque revelou saberes que não dizem respeito ao assunto investigado, para explicar suas razões de ilustrar as trajetórias no desenho 13. Observe sua fala:

L13G₂: Bom, eu acho, como agora temos duas substâncias (pensando), o movimento pode ser. Bom, primeiro vai ter a interação entre as moléculas com a direção delas, elas vão prosseguindo. Só que agora pode haver uma interação entre elas, como a formação de novas substâncias e a movimentação vai ser igual às outras. Elas vão tentar ocupar o volume inteiro do recipiente. Agora, eu não sei se a velocidade, na questão de velocidade das moléculas, vai interferir em alguma coisa. (Etapa 1C).

Para verificar a ideia do participante quanto à formação de novas substâncias, perguntamos como ficaria essa questão. L13G₂ respondeu:

L13G₂: Bom, poderia formar uma vermelha com duas verdes, por exemplo, uma verde e uma vermelha só ou uma verde e duas vermelhas. Então, pelo desenho não dá assim para prever o que vai acontecer. Mas essas são as possibilidades que podem acontecer. Assim, eu acho que pode haver mais algumas, mas agora eu não consigo pensar. Eu acho que é isso! Na questão da velocidade e tudo, vai acontecer igual às outras. Agora a diferença é que pode haver mais interação entre essas moléculas. (Etapa 1C).

Conforme Piaget (1987, 2102), verificamos que o participante foi criando esquemas durante o contexto de aplicação das etapas e os assimilando; também abstraiu, refletiu e reelaborou suas concepções, para poder entender e explicar o que fala. Esse dado pode ser

confirmado, porque L13G₂ apresentou um discurso de gênero científico, ao explicar as razões de ter ilustrado as partículas no desenho 13, etapa 1D, como indica sua fala:

L13G₂: Bom aqui vai acontecer também a mesma coisa. Igual a todos os outros. As moléculas, a tendência vai ser ocupar o volume geral. Então vai começar um desordenamento assim das substâncias. Então, elas vão começar a se misturar entre si. Aí vai, tipo, verde, outro verde aqui, verde, verde, verde. Aí fica um vermelho, outro vermelho. Elas vão começar a se misturar no meio. Vai começar a ficar um negócio meio desordenado entre elas. Eu tentei mostrar a cinética em que ela ia acontecer e quais as suas direções. Por exemplo, porque todas as moléculas não vão ter a mesma direção. Então, no caso, cada uma vai seguir uma direção, podendo colidir uma com a outra e, nisso, vai ocorrendo um desordenamento entre a ordem das moléculas. Sendo assim, vai ocorrer uma molécula vermelha bater para cima de uma azul, de uma verde ou duas verdes e três verdes e uma azul, assim, vai ser um negócio bem desordenado. (Etapa 1D).

Verificamos também, em alguns discursos do participante, saberes que se aproximam do cientificamente aceito, quando perguntamos os motivos de as partículas irem para lá e para cá no sistema, conforme suas respostas:

L13G₂: Por causa da velocidade também delas, algumas, por exemplo, elas são mais rápidas, aí elas vão começando a se espalhar também, e foi, como eu falei, também a tendência delas é ocupar o recipiente inteiro, assim, com a velocidade delas, aí, conforme elas (falando das partículas) vão colidindo, vão se espalhando, no caso, tipo uma colide com a outra, aí uma está numa maior velocidade e outra está em menor, quando colidem com elas vão se espalhando e tudo mais. (Etapa 1A).

L13G₂: No quesito direção das moléculas, eu creio que é por causa da direção delas, previamente só que depois com a colisão com outras moléculas, daí vai interferindo na direção delas, daí elas vão tomando outros sentidos. (Etapa 1B).

L13G₂: Ah, das colisões com outras moléculas e da cinética, né. Daí uma vai começar, por exemplo, da esquerda para a direita, aí tem uma vinda de baixo para cima, aí colide com uma, aí essa que estava vindo da direita para a esquerda passa a ter um sentido para cima e para a esquerda, entendeu? Então, assim, elas vão mudando todo o sentido e ocupando o volume inteiro do recipiente. (Etapa 1D).

Na resposta acima, etapa 1A, percebemos uma compreensão correta no discurso de L13G₂, ao descrever que as partículas vão para lá ou para cá no sistema devido à velocidade delas, sendo umas mais rápidas colidem com outra com velocidade menor, espalhando-se e ocupando todo o recipiente. Para um gás real, “é possível que antes de uma colisão uma determinada molécula esteja se deslocando rapidamente e que depois de uma colisão ela seja acelerada para uma velocidade ainda maior, sendo diminuída em uma próxima colisão” (ATKINS; PAULA, 2012, p. 291). No caso da simulação, essa situação ocorre.

Na aplicação dos níveis do jogo, conferimos a subcategoria discurso de gênero científicos nos níveis 1 e 2, porque L13G₂ utilizou as palavras “movimento aleatório” e “movimento desordenado”, para responder as razões de ter ilustrados as trajetórias das partículas no desenho 26, como conferimos em suas respostas:

L13G₂: Eu pensei em ir primeiro para o lado das partículas azuis para colidir, mas, como o movimento é aleatório (falando das partículas no jogo), vai ter também a interferência das partículas laranjas. (Nível 1).

L13G₂: Bom, como tem uma maior quantidade das esferas azuis (pensando), elas iam colidir entre si (pensando), também por causa do primeiro nível, eu vi que as velocidades eram diferentes. Então, (pensando), como elas iam colidir umas entre as outras (falando das partículas do jogo), o movimento delas seria bem desordenado, então, (pensando), uma possibilidade seria dessa trajetória onde uma ia colidir com a outra e partindo do ponto inicial você ia ter que descer ou subir no caso. (Nível 2).

Na resposta do nível 2, percebemos que o jogador levou em consideração o que vivenciou no nível anterior, portanto, conforme Piaget (1987, 2012), criou esquemas e os assimilou para poder entender e explicar o que fala, principalmente a questão da velocidade das partículas.

Nos demais níveis, 3, 4 e 5, também verificamos que L13G₂ foi levando em consideração o contexto do jogo. No entanto, apesar de não termos verificado palavras que aludem cientificamente para o conceito de aleatoriedade, se manteve na subcategoria discurso próximo do gênero científico, como confirmam suas respostas:

L13G₂: Bom, (pensando), como tem uma quantidade maior (falando das partículas) (pensando), vai ter mais interações (falando das colisões) das moléculas. Aí, no caso, inicialmente, você vai conseguir atingir (falando das azuis) um maior número no começo. E, depois, elas (falando das partículas do jogo) vão se espalhar, elas vão começar a colidir com as laranjas e tudo mais. E, também, as últimas que eu toquei antes, elas vão ser desviadas né por causa das trajetórias da bola vermelha e também vão começar a interferir no sistema. Então, tipo, essas interferências que vão acontecendo vão causando esses deslocamentos. Aí, no caso, a partir daqui (falando e mostrando no desenho a 4ª e 6ª colisão) começaria a ter bastante interação das moléculas e tudo mais, tanto que fica bem distante a colisão da bola vermelha com as azuis. (Nível 3).

L13G₂: Bom, foi mais aquilo (pensando) que eu estava vendo em outros jogos que, conforme iam aumentando o número de moléculas (pensando), elas iam tendo maior número de colisões, alterando a velocidade delas e o deslocamento delas. Para você fazer a colisão com todas as bolas azuis, a trajetória ficaria bem maior, porque você ia ter que desviar de mais, mais bolas laranja e (pensando), e percorrer mais um trajeto até chegar à bolinha azul, porque elas também vão interagir com as bolinhas laranja. Então, assim, vai alterar a velocidade delas e o deslocamento. Aí, no caso, você teria que andar bem mais, por causa disso. (Nível 4).

L13G₂: Bom, (pensando), a maior parte das moléculas, no início, elas vão estar perto do, (pensando), elas vão estar bem próximas umas das outras. Então, a trajetória no começo seria que ficariam bem próximas. Então, seria uma trajetória bem curtinha para pegar a maioria das moléculas no começo. Depois, as restantes (falando das azuis) iam se espalhar, e aí você (pensando) ficaria um caminho mais longo, você teria que ir fazendo os deslocamentos do (pensando), ir desviando das bolinhas laranjas até pegar todas as bolinhas azuis. (Nível 5).

Nos discursos de L13G₂, níveis 3, 4 e 5, apesar de não verificarmos termos científicos, nos revelou outros saberes que se aproximam do assunto investigado, como o aumento do número de partículas no sistema e, conseqüentemente, o de colisões, trajetórias curtas da partícula vermelha com a azul no início do jogo, alteração da velocidade e dos deslocamentos.

Notamos a preocupação de L13G₂ com a velocidade das partículas e os seus deslocamentos após as colisões. Ele apreendeu que “[...] as esferas no jogo, apesar de se encontrarem inicialmente em uma disposição organizada, se movimentam de forma aleatória e conseqüentemente adquirem configurações diferentes e aleatórias a cada momento [...]” (ALMEIDA, 2015, p. 75).

Conforme o quadro 43, os contextos de aplicação das etapas e níveis do jogo digital foram importantes, porque nos proporcionaram investigar, além da correta concepção de L13G₂ do conceito de aleatoriedade, outros saberes que precisam ser revistos segundo a teoria cinética dos gases, como a formação de moléculas, revelado no discurso da etapa 1C.

A seguir, apresentamos as análises do conceito de aleatoriedade do grupo 03.

6.4.2 Grupo 03: Conceito de aleatoriedade – níveis do jogo digital

Neste grupo, apresentamos as análises e discussões de cada unidade de registro, individualmente, conforme os níveis do jogo digital. Para isso, organizamos as unidades de registro para cada participante, conforme o seu código de identificação.

Seguem, no quadro 44, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L14G₃.

Quadro 44: Categorias, subcategorias e unidades de registro de L14G₂

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO				
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE	Discurso de gênero científico	--	--	--	--	L14G ₃
	Discurso próximo do gênero científico	L14G ₃	L14G ₃	L14G ₃	--	--
	Discurso de senso comum	--	--	--	L14G ₃	--

Fonte: Dados da pesquisa

Segundo o quadro 44, L14G₃ se manteve na subcategoria discurso próximo do gênero científico nos níveis 1, 2, 3, como indicam suas repostas a respeito de suas razões de ter ilustrado as partículas no desenho 27:

L14G₃: Nenhuma! (Pensando) eu não sei como elas se movem! Então, eu só inventei só, não tem um porquê. É só a primeira (falando da 1ª colisão), porque eu acho que como ela vai subir porque ir reto normalmente ela não vai. Eu só tive razão para pôr a primeira (falando da 1ª colisão no seu desenho), o resto eu tive que inventar. (Nível 1).

L14G₃: Foi observando o primeiro jogo, porque antes eu nem tinha reparado que elas (falando das partículas do jogo) batiam na parede. Nessa aí eu já as desenhei com elas batendo na parede e aí elas mudam a trajetória. E antes (falando do desenho 113) eu não tinha considerado isso. (Nível 2).

L14G₃: Oh, está ficando cada vez mais bagunçado, mais desenhado (falando do seu desenho), porque tem mais bolinhas e elas se chocam mais. E, então, continuo sem saber as trajetórias delas, mas eu sei que vai ficar mais bagunçado cada vez. Igual aqui no desenho, eu aumento as trajetórias a cada nível que passa. (Nível 3).

Nas falas dos níveis 1, 2 e 3, consideramos os discursos próximos do científico, porque a participante, apesar de não ter utilizado as palavras almeçadas na subcategoria, ela revelou saber da impossibilidade de prever as trajetórias das partículas

Conforme Piaget, notamos também que L14G₃ criou esquemas e os assimilou, para entender e explicar suas respostas, principalmente a do nível 2.

No nível 4, constatamos um discurso de senso comum da jogadora, porque sua resposta se manteve relacionada às regras do jogo. Observe:

L14G₃: No começo eu vou ficar nesta parte de abaixo da linha tracejada vermelha. Isso no começo. Aí, depois eu vou me concentrar na parte de cima, no risco vermelho. Eu acho que eu devia de mudar a estratégia toda a vez. Mas, né, eu não sei para que eu estou mudando! A gente devia manter uma estratégia e só aprimorar ela. Mas me parece que eu estou mudando completamente as minhas coisas. No outro jogo, me parece que eu me saí melhor na parte de baixo. Então, a minha trajetória vai ser pra baixo, primeiro porque foi onde eu consegui bater em mais bolinhas, né. E em cima me parece também que no cantinho que as laranjas não ficam muito por lá. (Nível 4).

Conforme o quadro 44, os contextos dos níveis do jogo foram importantes, porque nos proporcionaram investigar a correta concepção de L14G₃ do conceito de aleatoriedade no nível 5 do jogo. Confirmamos esse fato quando a jogadora respondeu a respeito de suas razões de ter ilustrado as partículas no desenho 27. Veja:

L14G₃: Razão nenhuma! (Pensando), eu só estou deixando desordenado porque é assim que eu acho que ficam as partículas dos gases, as moléculas. Então, não sigo nenhum padrão, só as distribuo de maneira aleatória, porque o movimento das partículas nunca é organizado. Então, eu tento deixar bem desorganizado. (Nível 5).

Diante do evidenciado nas respostas da participante, concluímos que os contextos de aplicação dos níveis do jogo foram importantes para verificarmos a predominância de discurso de gênero científico de L14G₃.

Seguem, no quadro 45, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L15G₃.

Quadro 45: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L15G₂

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO				
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE	Discurso de senso comum	L15G ₃	--	L15G ₃	L15G ₃	--
	Discurso não elucidativo	--	L15G ₃	--	--	--

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 45, L15G₃ não elucidou o conceito de aleatoriedade no nível 2, como verificamos em sua resposta quanto às razões de ter ilustrado as trajetórias das partículas no desenho 28:

L15G₃: Eu acho que a laranja vai estar mais próximas das azuis. Os grupinhos de azul vão estar mais próximos dos grupos de laranja. (Nível 2).

Nos outros níveis do jogo, verificarmos discursos de senso comum do jogador que se ateuve mais às regras do jogo e também ter se reportado ao fator velocidade das partículas durante o jogo. Suas respostas indicam incertezas quanto às suas razões de ilustrar as trajetórias das esferas no desenho 28. Confira:

L15G₃: Essa aqui vai deslocar aqui (falando e mostrando no desenho a 1ª colisão), esta daqui desloca aqui (falando e mostrando no desenho a 2ª colisão), essa aqui desloca aqui (falando e mostrando no desenho a 3ª colisão). Essa daqui é a última, desloca aqui (falando e mostrando no desenho a 5ª colisão). E essa aqui, aqui (falando e mostrando no desenho a 4ª colisão). Aí, as cinco laranjas, essa primeira (falando e mostrando a 1ª laranja da fileira) vai deslocar mais longe, aí essa aqui (falando e mostrando a 2ª laranja). Eu acho que é assim, eu acho que a 2ª bolinha (falando da azul no seu desenho) ela vai vir reta e eu já vou pegar ela, daí eu já peguei a primeira (falando da 1ª bolinha azul da fileira no seu desenho) que está próxima da primeira, enquanto as outras aqui embaixo estão mexendo. Aí, enquanto isso eu vou desviando das laranjas até eu chegar às debaixo (falando da 4ª e 5ª colisão). O meu foco primeiro são as três primeiras (falando da 1ª, 2ª e 3ª colisão) que vão estar em cima. (Nível 1).

L15G₃: Eu acho que a azul vai começar com mais velocidade, assim como a laranja. Então, elas vão se misturar muito rápido. Só que, no que elas vão se misturar, algumas vão ficar mais agrupados com laranjas e as azuis eu acho que elas não vão ficar mais tão unidas quanto antes. Acho que as laranjas vão tentar proteger as azuis para dificultar o jogo. Porque, se eu vou tentar bater nessa azul (falando da 7ª colisão no desenho), por exemplo, dependendo de onde eu venho bater nela, eu posso bater e atingir essas duas laranjas. E eu acho que por isso que vai aumentando a dificuldade do jogo, além da velocidade vai aumentando essa camada de proteção que as laranjas fazem em torno da azul. (Nível 3).

L15G₃: Eu vou desenhar os movimentos delas assim (mostrando no seu desenho os sentidos das azuis como uma rosa dos ventos), indicam as quatro posições em que elas podem se movimentar. Eu não percebi se elas se movimentam na diagonal, se eu perceber agora, eu desenho no próximo. Mas eu acredito que sim, como se fosse uma rosa dos ventos, entendeu? Como eu não tenho muitas habilidades com desenhos, eu só sei desenhar retas (risos). Agora, as laranjas também se movimentam em todas as direções. Nossa, meu desenho parece natal (risos). Como eu só controlo a vermelha, a vermelha só tem um sentido, que é o sentido que eu escolhi (falando do seu desenho). Eu escolhi começar por baixo para tentar fugir das laranjas porque inicialmente as laranjas vão partir daqui (falando do lado direito do desenho). E, se eu comesse aqui (falando da 14ª colisão) que é bem mais próxima, eu ia estar me aproximando mais das laranjas de uma forma bem mais rápido das laranjas. (Nível 4).

Nas falas acima, percebemos que o contexto proporcionou a L15G₃ um pensar e refletir para explicar suas razões de ilustrar as trajetórias no desenho 28 e também para entender o que fala, pois, ao questionarmos as razões de aumentar a velocidade das partículas como exposto na reposta do nível 3, o jogador esclareceu o seguinte:

L15G₃: Aumenta a energia, né! Quando você ferve a água, por que a água borbulha? Porque você aumenta a energia, aumenta a velocidade, o choque entre as partículas. (Nível 3).

L15G₃: É como se fosse uma panela de pressão: no nível 1, você acabou de colocar a água; no nível 2, você está esquentando; no nível 3, esquentou mais ainda; no nível 4, esquentou mais e, no nível 5, ferveu. Então, no nível 5 deve ser muito rápido. Imagino eu. Eu acho que vai aumentando a velocidade das partículas por esse motivo, o mesmo fator das partículas da água receber o calor na panela. (Nível 3).

Na resposta acima, o participante revelou outros saberes pertinentes às variáveis dos gases, mas, conforme o quadro 45, necessita rever e reelaborar suas concepções, para apreender cientificamente o conceito de aleatoriedade.

Seguem, no quadro 46, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L16G₃.

Quadro 46: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L16G₂

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO				
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE	Discurso de gênero científico	--	--	L16G ₃	L16G ₃	--
	Discurso não elucidativo	L16G ₃	L16G ₃	--	--	--

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 46, L16G₃ não elucidou o conceito investigado, porque verificamos em suas respostas, quanto às razões de ter ilustrado as trajetórias das partículas no desenho 29, somente as regras do jogo. Observe:

L16G₃: Ah, eu estou imaginando para que lado que o jogo irá jogar as azuis e que eu vou sair atrás delas. (Nível 1).

L16G₃: Então, agora ao invés de ficar desenhando o movimento das azuis e das vermelhas, eu só coloquei o movimento da vermelha e coloquei as azuis onde eu acho que elas vão estar mais ou menos durante o jogo, assim. (Nível 2).

No entanto, nos níveis 3 e 4, verificamos um discurso próximo do gênero científico do jogador, como podemos observar em suas falas:

L16G₃: Nossa, já foi imprevisível no nível 2, já atrapalhou um monte as laranjas! Imagino no nível três, eu vou colocar eu morrendo já! Eu vou colocar eu (falando da vermelha) encostando na azul e depois eu morro. É porque as laranjas estão demais; olha elas enchem o jogo. Aqui eu já coloquei aleatório, porque eu desisti de prever alguma coisa, a minha trajetória, porque não dá. E eu já coloquei que eu vou conseguir colidir com 1ª, 2ª azuis e, na hora em que eu for tentar pegar a terceira, aquele monte de laranja em volta, eu vou esbarrar em uma na hora em que eu estiver tentando desviar. (Nível 3).

L16G₃: Então, professora, agora eu já estou colocando (falando do desenho das suas trajetórias) aleatório mesmo, porque é muito aleatório, não tem como saber. Mas, no começo pelo menos, as azuis tendem a ficar perto, é que depende qual altura do jogo eu estou desenhando, entendeu? Até certo momento, elas ficam perto, depois elas se espalham. Olha! Aqui eu coloquei (falando das azuis) o começo do jogo, porque eu acho que vai estar um pouco mais fácil e que as laranjas vão estar mais longe. Daí, as próximas bolinhas (azuis) já vão estar mais espalhadas e as laranjas também; aí, eu vou ter que fazer um zig zag, aí eu fui fazendo (risos). (Nível 4).

Os contextos do jogo digital foram importantes, porque nos proporcionaram investigar a correta concepção da jogadora do conceito de aleatoriedade nos níveis 3 e 4 do jogo digital. E, também, conforme Piaget (1987, 2012), a sua capacidade de construir esquemas e os assimilá-los, para prever e ilustrar as trajetórias de partículas no desenho, níveis 1 e 4.

Seguem, no quadro 47, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L17G₃.

Quadro 47: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L17G₂

CATEGORIA	SUBCATEGORIA	UNIDADES DE REGISTRO				
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE	Discurso de senso comum	L17G ₃	L17G ₃	L17G ₃	L17G ₃	--

Fonte: Dados da pesquisa

Perante o quadro 47, L17G₃ se manteve na subcategoria discurso de senso comum, porque verificamos apenas o emprego de termos como “colidir”, conforme às regras do jogo, para explicar suas razões de ter ilustrado o desenho 30. Observe em suas respostas:

L17G₃: As bolinhas laranja vão estar aqui (mostrando as laranjas no desenho) e as azuis aqui (mostrando as azuis no desenho). Daí, quando começar o jogo, elas (falando das partículas do jogo) vão quase meio que colidir. E eu tenho que colidir com a vermelha com as azuis. Daí eu vou primeiro colidir aqui (mostrando a 1ª colisão no desenho). (Nível 1).

L17G₃: Ah, foi o mesmo sistema do nível 1, sempre pegando as azuis mais próximas e desviando das laranjas. É isso! (Nível 2).

L17G₃: Então, eu pensei assim: como as laranjas tem aqui três fileiras de cinco, provavelmente as laranjas do fundo elas vão colidir com algumas aqui da frente e ir voltando, por isso que tem uma concentração de bolinhas laranja mais aqui. Então, a mesma coisa vai acontecer aqui da azul, ela vai ficar mais aqui as bolinhas, porque uma vai bater na outra na hora de sair e vai ter uma concentração maior aqui e algumas das laranjas da frente vão conseguir chegar mais para cá (falando das laranjas do meio no desenho). (Nível 3).

L17G₃: Aqui eu tenho uma quarta fileira de cinco bolinhas azuis. Então, eu tenho mais bolinhas azuis e mais laranjas. A mesma questão, na hora em que começar o jogo, elas (falando das laranjas) vão se colidir, elas vão voltar e bater na parede para depois voltar para começar a colidir com as outras bolinhas (falando das azuis). É por isso que tem essa concentração maior das laranjas aqui (falando do lado direito) e das azuis aqui (falando do lado esquerdo). (Nível 4).

Percebemos nos discursos acima que os contextos de aplicação dos níveis do jogo proporcionam ao participante construir esquemas pertinentes às regras do jogo, pois não verificamos uma concepção científica do conceito de aleatoriedade nas falas de L17G₃.

Seguem, no quadro 48, a categoria, as subcategorias 2 as unidades de registro de L18G₃.

Quadro 48: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L18G₃

CATEGORIA	SUBCATEGORIA	UNIDADES DE REGISTRO				
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE	Discurso de senso comum	L18G ₃	L18G ₃	L18G ₃	L18G ₃	--

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 48, L18G₃ se manteve na subcategoria discurso de senso, porque verificamos que, além de ter atentado mais às regras do jogo, também utilizou termos, como “acertar” e “bater”, para explicar suas razões de ter ilustrado o desenho 31. Observe suas falas:

L18G₃: É muito relativo falar para onde elas vão, professora (risos)! Elas vão ficar variando, porque elas vão estar em movimento. Não sei! (Nível 1).

L18G₃: Ah, eu fui, no intuito de que ela (falando da vermelha) vai acertar na mais próxima. Então, tipo assim, se ele bateu aqui na primeira (falando da 1ª colisão), eu não vou vir aqui (falando da 8ª colisão) embaixo tentar acertar a segunda. Só, eu sei que na hora do jogo vai ser um pouco diferente! (Nível 2).

L18G₃: Eu quis acertar as mais próximas de novo. As bolinhas que estavam mais próximas umas das outras. (Nível 3).

L18G₃: A mesma coisa, tentar acertar todas (falando das azuis) aqui no canto (falando do lado esquerdo das azuis) o máximo possível antes delas irem para lá (falando do lado direito). (Nível 4).

Nos discursos acima, percebemos que L18G₃ revelou entender sucintamente a dificuldade em prever as trajetórias das partículas, como podemos ler na fala do nível 1 e 2, mas, no final da fala do nível 1, revelou não saber. Como o jogador não elucidou cientificamente o conceito de aleatoriedade, precisa apreender a respeito do assunto.

Seguem, no quadro 49, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L19G₃.

Quadro 49: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L19G₂

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO				
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE	Discurso de senso comum	--	L19G ₃	L19G ₃	L19G ₃	--
	Discurso não elucidativo	L19G ₃	--	--	--	--

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 49, no nível 1, L19G₂ não elucidou o conceito investigado, porque sua reposta às razões de ter ilustrado as trajetórias no desenho 32 atentam mais à sua movimentação da partícula vermelha, como indica sua fala:

L19G₃: Porque é mais fácil de mexer na mão, vai assim (falando da 1ª colisão) e sobe. (Nível 1).

Nos demais níveis, 2, 3 e 4, a jogadora utilizou termos de senso comum, como “bater”, “pegar” e “colidir”, para justificar suas razões de ter ilustrado as trajetórias no desenho 32. Observe suas falas:

L19G₃: A mesma do outro, pela minha coordenação. As trajetórias são porque agora eu pensei mais, depois que eu vi o primeiro nível, onde elas batem e para onde elas estão mais propensas a ir. Então, as azuis no início

sempre vão vir mais para cá (falando do lado direito), enquanto as laranjas para o lado oposto que elas estão (falando do lado esquerdo). (Nível 2).

L19G₃: Porque, agora foi porque as bolas azuis estão do lado esquerdo. Então, eu tenho que começar jogando a minha bolinha vermelha para o lado esquerdo. Porque, se eu jogar para o lado direito, vai pegar nas laranjas. Aí, foram às trajetórias em que as bolinhas estavam mais próximas umas das outras. (Nível 3).

L19G₃: Aqui (falando da 1ª colisão) estava mais perto da minha vermelha, se eu fosse para cá (falando da 20ª colisão), eu tinha três laranjas para fugir. E aqui eu só tinha duas laranjas e eu já podia colidir com a azul e fazer o resto das minhas trajetórias. (Nível 4).

Nos discursos acima, verificamos que L19G₃ apreendeu as regras do jogo, atentou para a sua coordenação, pois o jogador atua com a partícula de cor vermelha e revelou também sua preocupação com a partícula laranja.

Conforme Piaget (1987, 2012), os níveis do jogo proporcionaram a essa participante construir esquemas e os assimilá-los para o seu bom desempenho no jogo. Contudo não contatamos um discurso científico do conceito de aleatoriedade de L19G₃.

Seguem, no quadro 50, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L20G₃.

Quadro 50: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L20G₃

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO				
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE	Discurso de senso comum	--	L20G ₃	--	L20G ₃	--
	Discurso não elucidativo	L20G ₃	--	L20G ₃	--	--

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 50, L20G₃ não elucidou o conceito de aleatoriedade, porque suas respostas quanto às razões de ter ilustrado as trajetórias no desenho 33, no nível 1, são insuficientes e no nível 2 atentam às regras do jogo. Veja:

L20G₃: Ah, porque é mais fácil. (Nível 1).

L20G₃: Agora eu pensei em deixar (pensando), eu pensei mais no tempo agora, por isso que eu coloquei as bolinhas (falando das laranjas) um pouco mais aproximadas às azuis e as laranjas também, porque elas estão em bastante quantidade. (Nível 3).

Nos discursos dos níveis 2 e 4, verificamos que a jogadora utilizou palavras de senso comum, por exemplo, “bagunçadinho”, “misturando”, “espalhando”, tanto para entender e explicar o que ilustrou no desenho 33, quanto para o que respondeu. Observe:

L20G₃: Ai meu Deus (risos). É, porque eu acho que as bolinhas (falando das partículas do jogo) vão ficar todas bagunçadinho. É assim, eu coloquei as laranjas bem próximas da vermelha porque ela não vai deixar a vermelhinha sair tão fácil assim. E as azuis vão ficar distantes. Então, o nível ficaria mais difícil. (Nível 2).

L20G₃: É porque elas vão começar devagar desse lado (falando e mostrando no desenho o lado esquerdo das azuis no início do jogo), pelo que eu percebi no 3º nível. Daí, eu vou tentar bater nelas, tipo, eu coloquei elas próximas, porque elas juntam, eu já bato em uma 1, 2, 3 e 4 (colisões no desenho) rapidinho. E daí tipo as 5, 6, 7 (falando dessas colisões) mato elas. Daí, as laranjas vão vir e ficar se misturando e se espalhando. (Nível 4).

Os conteúdos aplicados nos níveis do jogo digital foram importantes para verificarmos que a participante levou em consideração os conhecimentos observados durante o jogo, porém não nos revelou cientificamente o conceito investigado. Assim, seus discursos de senso comum necessitam ser reelaborados, para se apreender o assunto investigado.

Segue, no quadro 51, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L21G₃.

Quadro 51: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L21G₃

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO				
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE	Discurso de senso comum	L21G ₃	L21G ₃	--	L21G ₃	--
	Discurso elucidativo ao jogo	--	--	L21G ₃	--	--

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 51, L21G₃ se manteve na subcategoria discurso de senso comum nos níveis 1, 2 e 4, como reportam suas falas:

L21G₃: Elas (falando das partículas no jogo) estão batendo nas paredes, assim, (risos). Não sei (risos)! Eu acho que se colidir vai empurrar. (Nível 1).

L21G₃: As colisões entre a bolinha azul e a laranja ou entre a bolinha vermelha e a azul e entre a bolinha azul e as paredes. (Nível 2).

L21G₃: Todo mundo vai bater em todo mundo, eu acho, porque agora (pensando) vai, é, todo mundo vai bater em todo mundo, todas as bolinhas vão colidir entre si. (Nível 4).

Nos discursos acima, L21G₃ empregou as palavras “batendo”, “colisões”, “bater”, para explicar e entender tanto as suas trajetórias no desenho 34 como as suas falas.

De outro modo, no nível 3, L21G₃ não elucidou o conceito de aleatoriedade, porque sua fala atenta para as regras do jogo. Perceba:

L21G₃: Eu acho que eu vou levar todas as azuis para esse cantinho aqui (falando do lado esquerdo). E, a hora em que terminar o jogo, elas (azuis) vão estar rápidas e voltando para cá (falando novamente do lado esquerdo). (Nível 3).

Diante do exposto, concluímos que os contextos dos níveis do jogo nos permitiram verificar discursos de senso comum da jogadora. Necessita ela, além de reelaborar melhor suas ideias, também apreender o conceito de aleatoriedade.

A partir da análise realizada com os grupos 01, 02 e 03, podemos concluir que as regras impostas no jogo digital favoreceram os participantes, conforme os seus objetivos no jogo, a levar em consideração a quantidade das partículas, para prever as suas trajetórias nos desenhos. Esse resultado não ocorreu na construção dos desenhos durante a aplicação das etapas, porque todos os 21 participantes não levaram em consideração a quantidade total de partículas.

Constatamos que o fato de o jogador atuar no jogo como partícula vermelha, proporcionou a dezoitos participantes a ilustrarem nos desenhos, trajetórias curvas das partículas no sistema. Além disso, outro fato importante verificado foi que apenas L14G₃ e L21G₃ ilustraram colisões com a parede do sistema, nos desenhos 27 e 34.

A seguir, apresentamos as análises e discussões dos dados obtidos nos desenhos e nas entrevistas semiestruturadas junto aos participantes do grupo 01, 02 e 03, durante a aplicação dos níveis do jogo digital.

6.5 CONCEITO DE ALEATORIEDADE: IMPREVISIBILIDADE DE TRAJETÓRIAS DE PARTÍCULAS - ANÁLISE DOS DESENHOS E ENTREVISTAS (NÍVEIS DO JOGO DIGITAL)

Neste quinto momento, buscamos na análise dos desenhos dos (as) participantes responder a quinta questão de pesquisa. E nos discursos responder a sexta pergunta.

- *Como o (a) participante prevê, nos desenhos, as trajetórias de partículas no contexto proposto em cada nível do jogo digital?* (Quinta pergunta).
- *O contexto proposto nos níveis do jogo digital proporciona aos participantes compreenderem a imprevisibilidade de trajetórias de partículas?* (Sexta pergunta).

As respostas às perguntas acima foram norteadas pelas questões contidas no apêndice 07 (questões de número 1, 5 e 6).

É importante elucidar que na pergunta de nº 1 do apêndice 07 (*De acordo com a tela do computador, faça um desenho/previsão das trajetórias entre as partículas para obter os cinco pontos e passar de nível*), os participantes ainda não haviam jogado o nível do jogo digital.

Por isso, verificamos, por meio da pergunta de número 5 e 6, apêndice 07 (*Vamos ver como foi a sua previsão/desenho das trajetórias com relação às trajetórias ocorridas durante o nível 1 do jogo. Foi como você imaginava?*), como os participantes utilizam seus

conhecimentos antes e após jogarem cada nível, para ilustrar suas trajetórias e responder as questões elucidadas no subitem a seguir.

Para cada participante, os desenhos foram organizados (nível 1, 2, 3, 4 e 5) em uma única figura e, logo abaixo, os quadros com as categorias, subcategorias e unidades de registro.

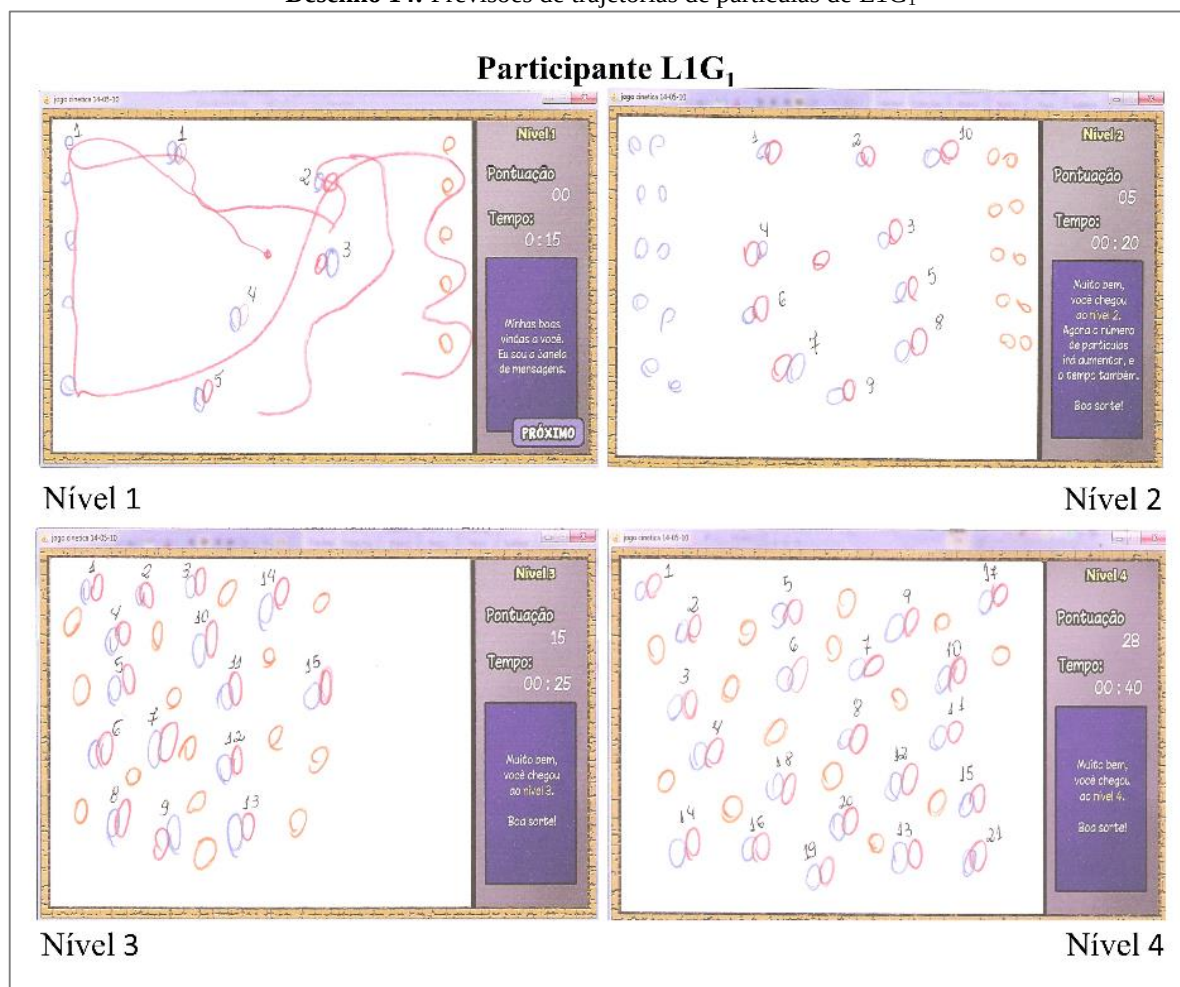
Para evitar repetições no texto, esclarecemos que as análises e discussões dos desenhos se nortearam pelo padrão 05.

Com base na fundamentação teórica da pesquisa, apresentaremos as análises e discussões dos dados obtidos com todos os (as) participantes, iniciando com L1G₁ e findando com L21G₃.

6.5.1 Participante L1G₁

Seguem, no desenho 14, as ilustrações das previsões de trajetórias/colisões de L1G₁ para cada nível 1, 2, 3 e 4 do jogo digital.

Desenho 14: Previsões de trajetórias de partículas de L1G₁



Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o desenho 14, L1G₁ previu as primeiras colisões do lado esquerdo somente nos níveis 3 e 4. Nos níveis 1 e 3, verificamos somente a primeira colisão do lado esquerdo, alcançando o padrão 05 somente nos níveis 3 e 4.

No desenho 14, não constatamos uma distribuição homogênea das partículas, mesmo no nível 5, que tem uma maior quantidade de partículas, pois, além de poucas partículas laranjas, o participante não as ilustrou muito do lado direito.

Observamos também no desenho 14, nível 1, que o participante desenhou curvas para ilustrar as trajetórias. Mas, segundo a teoria cinética dos gases, as partículas, na ausência de um campo de força, se movem em linha reta, obedecendo a primeira Lei de Newton (CASTELLAN, 2001). Esse dado apresentado por L1G₁ somente neste nível pode ter ocorrido devido a alguns motivos, como; não se lembrar do conceito, liberdade para desenhar as colisões, coordenação motora, atuar no jogo com a partícula vermelha.

Seguem, no quadro 52, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L1G₁.

Quadro 52: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L1G₁

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO			
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
CONCEITO DE ALEATORIEDADE: imprevisibilidade de trajetórias de partículas	Discurso de gênero científico	--	--	L1G ₁	L1G ₁
	Discurso próximo do gênero científico	--	L1G ₁	--	--
	Discurso elucidativo ao jogo	L1G ₁	--	--	--

Fonte: Dados da pesquisa

L1G₁, ao comparar suas previsões de trajetórias/colisões no desenho 14 com as trajetórias feitas durante o jogo, apresentou três tipos de subcategorias, segundo o quadro 52.

Assim, conforme o desenho 14 (nível 1) e quadro 52, L1G₁ revelou um discurso elucidativo ao jogo, revelando que suas previsões não foram como havia imaginado:

L1G₁: Não. Foi um pouco diferente do que eu esperava. Esqueci de ver que elas estão indo para cima e para baixo. Mais focado para a esquerda do que para a direita. (Nível 1).

No nível 2, já observamos um pensar e refletir no discurso de L1G₁, ao revelar que suas previsões foram mais ou menos parecidas com o desenho 14, nível 2. Confira sua fala:

L1G₁: Sim. Foi um pouco parecida, sim. Elas (falando das partículas azuis e laranjas), geralmente, tiveram a tendência de ficarem mais no meio assim, devido aos choques. Foi um pouco previsto. Lógico que não tem como

saber ao certo prever os movimentos (falando das partículas), principalmente por causa dos choques que mudam a direção. Só que, lógico, os choques entre elas, azul-azul ou azul e laranja, né, que não se juntam. (Nível 2).

Nessa resposta, percebemos que o participante se aproximou da subcategoria discurso próximo do gênero científico, quadro 52, pois atribuiu a imprevisibilidade das trajetórias aos choques entre as partículas que mudam sua direção.

Conforme quadro 52, nos níveis 3 e 4, L1G₁ apresentou discursos de gênero científico, porque verificamos em suas respostas a confirmação de que suas trajetórias de partículas no desenho 14, níveis 3 e 4, não foram como havia imaginado, porque elas são imprevisíveis. Esse dado é confirmado em suas respostas:

L1G₁: Não. São imprevisíveis, né (falando das trajetórias). Eu já previ que seriam imprevisíveis. (Nível 3).

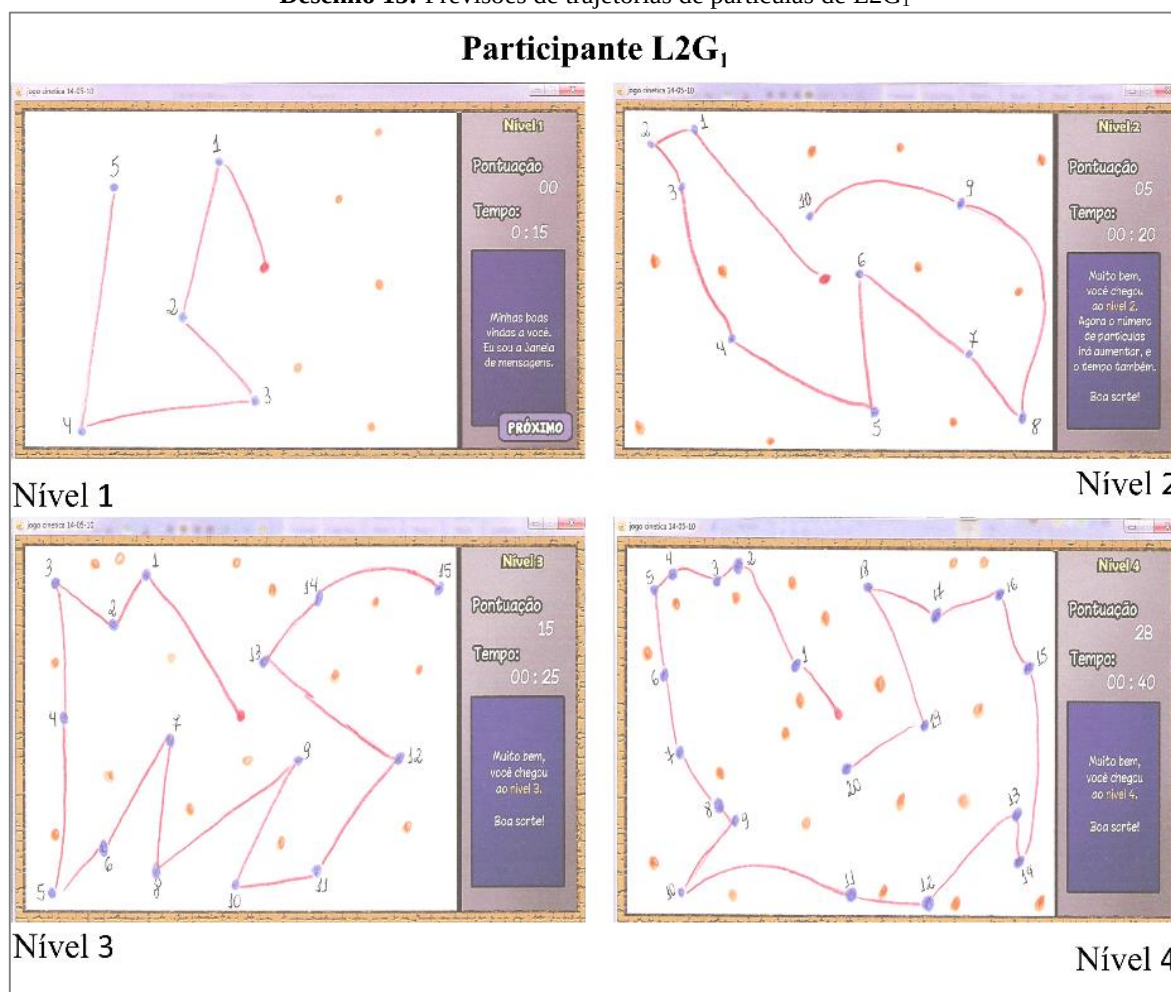
L1G₁: Não. Igual ao outro nível, são imprevisíveis, né. (Nível 4).

Concluimos que foi mais fácil para o participante revelar sua compreensão do conceito de aleatoriedade por meio de falas do que por meio de desenhos. Esse fato foi confirmado diante da análise do desenho 14 com o quadro 52. Os contextos propostos nos níveis do jogo digital foram importantes para verificarmos a correta concepção de imprevisibilidade de trajetórias de partículas de L1G₁.

Na sequência, as análises e discussões de L2G₁.

6.5.2 Participante L2G₁

Seguem, no desenho 15, as ilustrações das previsões de trajetórias/colisões de L2G₁, para cada nível 1, 2, 3 e 4 do jogo digital.

Desenho 15: Previsões de trajetórias de partículas de L2G₁

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o desenho 15, L2G₁ previu as primeiras colisões do lado esquerdo nos quatro níveis, portanto alcançou o padrão 05.

Constatamos também, no desenho 15, nível 1, uma previsão correta da jogadora, pois é possível obter essas trajetórias no início do jogo, uma vez que o número de partículas nesse nível facilita a previsão desse tipo de colisões.

Nos demais níveis 2, 3 e 4, não observamos uma distribuição homogênea, porque L2G₁ previu as trajetórias das azuis perto da parede com as partículas laranjas próximas; verificamos também que ilustrou as trajetórias em curvas assim como fez L1G₁.

Seguem, no quadro 53, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L2G₁.

Quadro 53: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L2G₁

CATEGORIA	SUBCATEGORIA	UNIDADES DE REGISTRO			
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
CONCEITO DE ALEATORIEDADE: imprevisibilidade de trajetórias de partículas	Discurso de senso comum	L2G ₁	L2G ₁	L2G ₁	L2G ₁

Fonte: Dados da pesquisa

L2G₁, ao comparar suas previsões de trajetórias/colisões no desenho 15 com as trajetórias feitas durante o jogo, pôde constatar que elas não foram como havia imaginado, nos revelando, conforme o quadro 53, discursos de senso comum nos 4 níveis do jogo, como indicam suas respostas:

L2G₁: Não, rsrsrs (risos) porque as bolas azuis no início saíram agrupadas. E, eu achei que elas iam sair todas dispersas. Aí, eu consegui praticamente de uma vez assim, bater com a bolinha vermelha em três azuis. E, depois, a última colisão que eu achei que fosse mais em cima, ela acabou se dispersando no meio, e eu tive que sair procurando ela. Então, ela foi mais difícil. Foi como eu imaginava nesse caso, que eu imaginei mesmo, que a 5ª colisão seria a mais difícil de chocar. Mas, ela (mostrando a 5ª colisão no desenho) eu tive que sair procurando ela e ir desviando das laranjas. (Nível 1).

L2G₁: Não, não foi (pensando)! (Nível 2).

L2G₁: Porque, enquanto eu estou colidindo com uma partícula (mostrando no desenho a 1ª colisão), a outra partícula tanto azul com laranja vai se dispersando e indo lá para o meio se misturar. (Nível 2).

L2G₁: Não, não foi! (Nível 3).

L2G₁: Porque eu não sou tão rápida também de conseguir (risos) colidir com todas as azuis sem que as laranjas se aproximem de mim (risos)! Então, ééé, porque, igual eu tinha comentado, enquanto eu estou tentando colidir com uma partícula as outras já estão se misturando e as laranjas vão vir perto de mim e vai ficar mais difícil de eu colidir com todas as azuis. (Nível 3).

L2G₁: Não, aconteceu igual no nível 3: como tem mais bolinhas, elas se misturam mais rápido (risos). Então, fica muito rápido e eu não consigo colidir muito (risos), porque as bolinhas laranja chegam perto de mim. (Pensando), mas, no início, eu até que tentei colidir com as bolinhas azuis aqui (mostrando no desenho as 1ª, 2ª, 3ª, 4ª e 5ª colisão). (Nível 4).

Conforme Piaget (1987, 2012), verificamos que os contextos dos níveis do jogo digital foram importantes, porque proporcionaram à participante comparar, pensar, refletir e constatar a imprevisibilidade de trajetórias de partículas, conforme falas dos níveis 1, 2, 3 e 4.

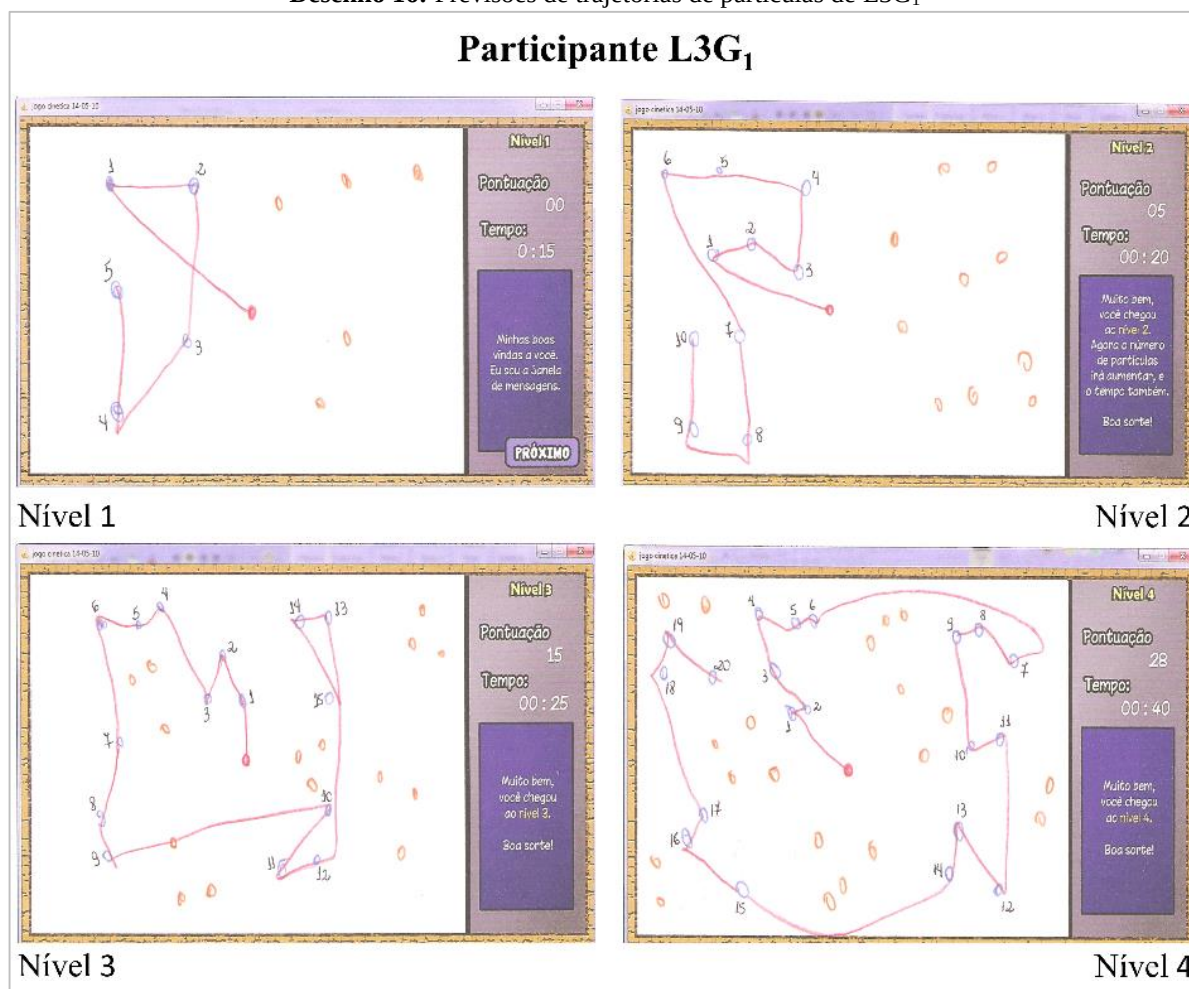
Concluimos, perante a análise o desenho 15 e quadro 53, que L2G₁ necessita reelaborar seus desenhos e discursos de senso comum. Para isso, importa apreender cientificamente a teoria cinética dos gases.

Na sequência, as análises e discussões de L3G₁.

6.5.3 Participante L3G₁

Seguem, no desenho 16, as ilustrações das previsões de trajetórias/colisões de L3G₁, para cada nível 1, 2, 3 e 4 do jogo digital.

Desenho 16: Previsões de trajetórias de partículas de L3G₁



Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o desenho 16, L3G₁ previu as primeiras colisões do lado esquerdo nos quatro níveis, portanto alcançou o padrão 05.

Constatamos também, no desenho 16, nível 1, uma previsão correta de L2G₁, pois é possível obter essas trajetórias no início do jogo, como também previsto por L2G₁, desenho 15.

Percebemos no nível 3, desenho 16, uma previsão pouco provável de ocorrer, pois, devido à movimentação aleatória das partículas no sistema, tanto as partículas laranjas como as azuis, em pouco tempo (5 segundos) se movimentariam por todo o espaço.

Nos níveis 3 e 4, não observamos uma distribuição homogênea, porque L3G₁ previu as trajetórias das azuis perto da parede com as partículas laranjas próximas; verificamos também

que ilustrou as trajetórias em curvas, assim como fez L1G₁ e L2G₁. Mas, de acordo com a teoria cinética dos gases, “[...] as moléculas têm trajetórias retilíneas e colidem entre si e com as paredes do recipiente em que estão” (MAIA; BIANCHI, 2007, p. 160).

Seguem, no quadro 54, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L3G₁.

Quadro 54: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L3G₁

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO			
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
CONCEITO DE ALEATORIEDADE: imprevisibilidade de trajetórias de partículas	Discurso de gênero científico	--	--	--	L3G ₁
	Discurso de senso comum	L3G ₁	L3G ₁	L3G ₁	--

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 54, L3G₁ revelou três tipos de discursos quando respondeu a respeito de suas previsões de trajetórias/colisões feitas no desenho 16.

Assim, nos níveis 1, 2 e 3, verificamos que L3G₁ se manteve na subcategoria discurso de senso comum, porque utilizou palavras como “estática, movimento e aproveitar”, para explicar a categoria investigada, como indica sua resposta:

L3G₁: Ah, mais ou menos, né, porque aqui (mostrando no desenho) você imagina uma coisa estática e, na verdade, não está estática, está em movimento, né. (Nível 1).

L3G₁: É, eu achei que ia dar mais trabalho mesmo. Embora eu só desenhei desse lado (mostrando o lado esquerdo do desenho), eu deveria ter aproveitado toda a tela. Mas era isso, tentar desviar e aproveitar as que estão próximas. E ir desviando das laranjas. (Nível 2).

L3G₁: É, foi. Assim, eu tentei aproveitar pelo menos no início, né, enquanto elas estavam aglomeradas. E, depois, eu fui tentando fugir das laranjas e tentando pegar as azuis. E eu não conseguir alcançar todas, sobraram três azuis. E não consegui alcançar todas, tentando fugir das laranjas. (Nível 3).

Percebemos nas falas acima que a jogadora foi criando esquemas e os assimilando para tentar entender e explicar o que fala, quando questionada a respeito das suas previsões de trajetórias no desenho 16. No nível 1, expressou: ‘Ah, mais ou menos, né’; no nível 2, ‘É, eu achei que ia dar mais trabalho mesmo’; no nível 3, ‘É, foi. Assim, eu tentei aproveitar pelo menos no início’.

Nesse contexto, L3G₁ apresentou um discurso de gênero científico, quando questionada se suas trajetórias no desenho 16, nível 4, foram como havia imaginado. Observe sua fala:

L3G₁: Não. Porque aqui no desenho eu as imaginei estáticas. E, aqui no jogo, não! Elas estão em movimento! Então, como é aleatório, não tem como você prever, né. Eles (gases) estão em movimento assim e, conforme bate,

volta, bate e volta. Então, não tem uma trajetória definida, é bastante difícil! Tem que ter bastante habilidade para conseguir acertar o desenho e o jogo! (Nível 4).

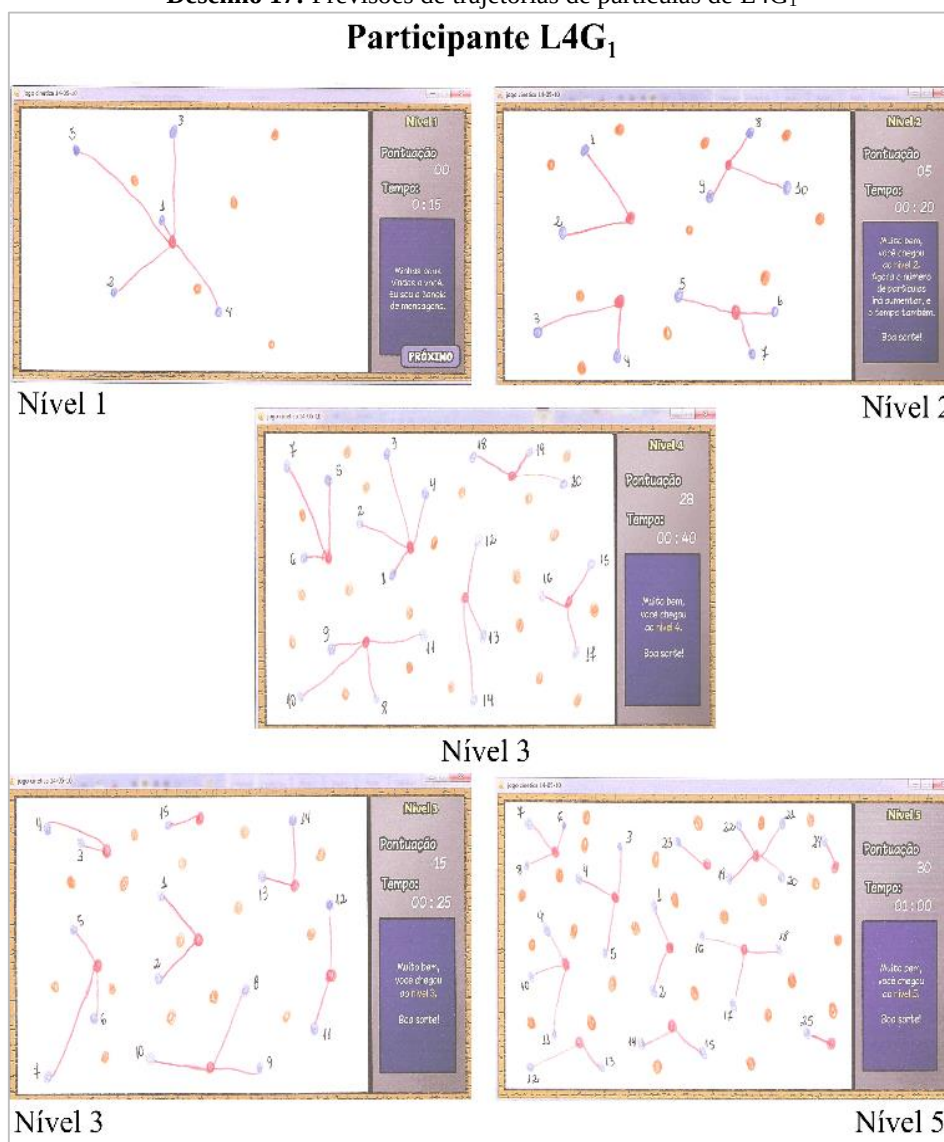
Verificamos, na fala de L3G₁, nível 4, o emprego de palavras que elucidam a categoria investigada, como: “aleatório, não tem como prever, não tem trajetória definida”.

Conforme Piaget (1987, 2012), concluímos que os contextos propostos nos níveis do jogo digital foram importantes para verificarmos a evolução e superação de L3G₁ em proferir discursos de senso comum para um discurso de gênero científico, conforme quadro 54.

Na sequência, as análises e discussões de L4G₁.

6.5.4 Participante L4G₁

Seguem, no desenho 17, as ilustrações das previsões de trajetórias/colisões de L4G₁, para cada nível 1, 2, 3, 4 e 5 do jogo digital.

Desenho 17: Previsões de trajetórias de partículas de L4G₁

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o desenho 17, L4G₁ previu as primeiras colisões do lado esquerdo nos cinco níveis, portanto alcançou o padrão 05.

Constatamos também, no desenho 17, nível 1, uma previsão correta de L4G₁, pois é possível obter essas trajetórias no início do jogo.

No desenho 17, verificamos que a jogadora não apresentou uma distribuição homogênea das demais partículas, porque atentou às regras do jogo, ilustrando sempre a partícula vermelha no meio envolta pelas azuis e essas envoltas pelas laranjas. Logo, percebemos, principalmente no nível 3, desenho 17, as partículas laranjas rodeando a ilustração da vermelha com a linha vermelha indo até a azul. Assim, a participante mostrou uma evolução quanto aos participantes L1G₁, L2G₁ e L3G₁, porque suas trajetórias estão mais alinhadas, próximas de uma linha reta, ou seja, não tão curvas.

Seguem, no quadro 55, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L4G₁.

Quadro 55: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L4G₁

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO				
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE: imprevisibilidade de trajetórias de partículas	Discurso de senso comum	L4G ₁	--	L4G ₁	--	--
	Discurso elucidativo ao jogo	--	L4G ₁	--	L4G ₁	L4G ₁

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 55, L4G₁ revelou dois tipos de discursos, quando respondeu a respeito de suas previsões de trajetórias/colisões feitas no desenho 17. Nos níveis 1 e 3, permaneceu na subcategoria discurso de senso comum. Confira em suas falas:

L4G₁: Não, né!? Nossa (risos), nada a ver (risos). (Nível 1).

L4G₁: Porque não segue uma ordem assim, um caminho (risos). (Nível 1).

L4G₁: Ah, mais ou menos igual eu imaginei, porque está tudo bagunçado, tudo misturado. Mas eu achei que, que as partículas azuis, na hora em que eu soltasse, elas iam mais rápidas para o outro lado direito (mostrando no desenho), por isso eu desenhei bastante no lado esquerdo. Mas, na hora em que eu colidi com elas, elas não estavam muito do lado direito. (Nível 3).

Nos níveis 2, 4 e 5, permaneceu na subcategoria discurso elucidativo ao jogo, como indicam suas falas:

L4G₁: Nossa! Foi nada a ver do que eu pensei (risos)! (Nível 2).

L4G₁: Não, porque eu nem consegui ir tanto para o lado direito do jogo, eu fiquei mais do lado direito tentando não colidir com as laranjinhas e não perder de novo (risos). (Nível 4).

L4G₁: Acho que não (risos). É muito difícil esse nível. Muita confusão (falando das partículas do jogo). (Nível 5).

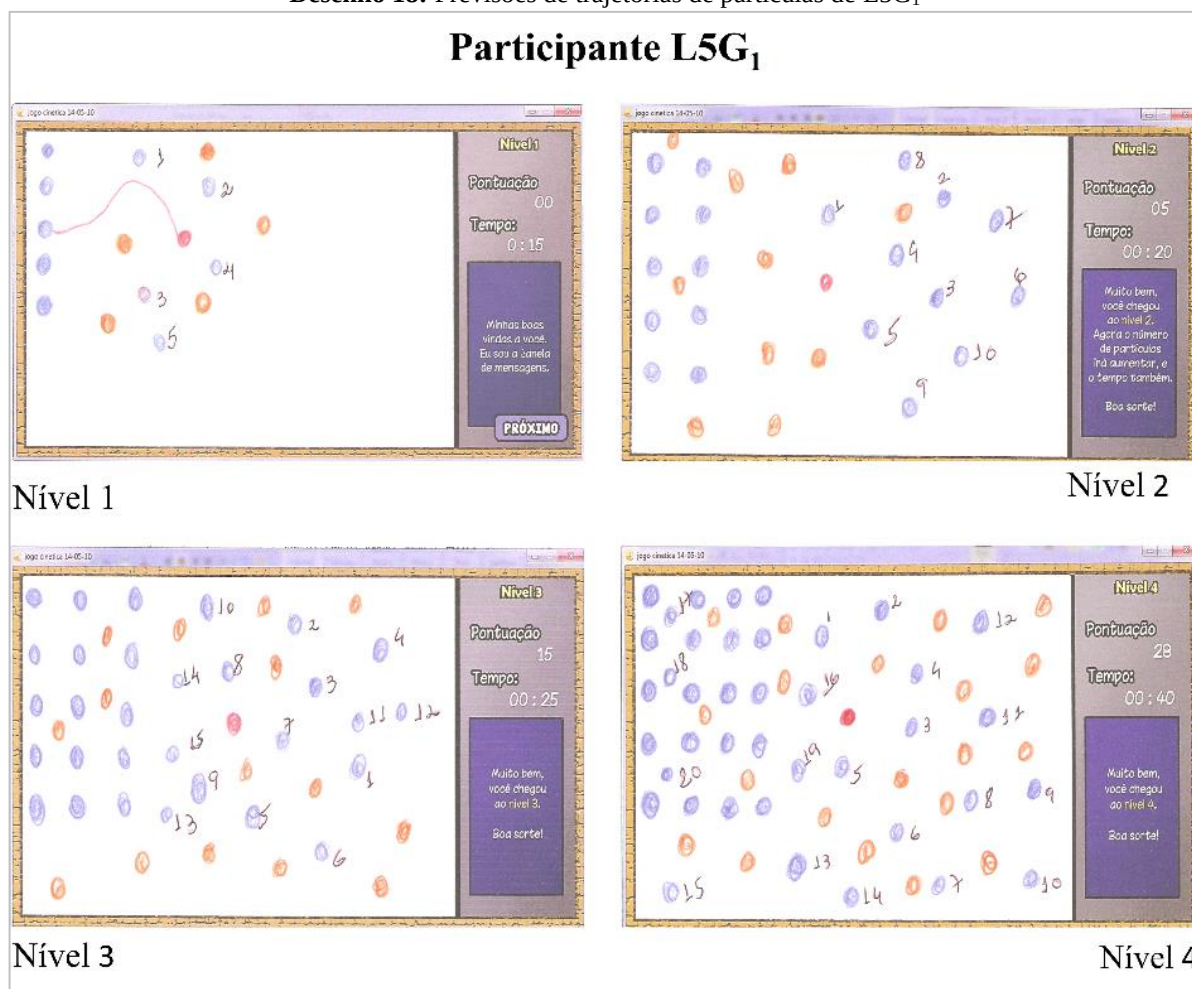
Percebemos, em quase todas as respostas acima, que os contextos propostos nos níveis do jogo digital permitiram a L4G₁ vivenciar e perceber a imprevisibilidade de trajetórias de partículas, porque confirmou que suas previsões no desenho 17 não foram nada a ver do que ela havia imaginado. No entanto, a jogadora não elucidou cientificamente a categoria investigada.

Na sequência, as análises e discussões de L5G₁.

6.5.5 Participante L5G₁

Seguem, no desenho 18, as ilustrações das previsões de trajetórias/colisões de L5G₁, para cada nível 1, 2, 3 e 4 do jogo digital.

Desenho 18: Previsões de trajetórias de partículas de L5G₁



Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o desenho 18, verificamos em todos os níveis que L5G₁ ilustrou no lado esquerdo as partículas azuis, como no início do jogo; com isso, previu as primeiras colisões mais próximas desse lado esquerdo, portanto não alcançou o padrão 05, e também não distribuiu as partículas por todo o sistema de maneira homogênea.

Constatamos somente no nível 1, desenho 16, uma linha curva em vermelho, ligando a partícula azul com a vermelha.

Seguem, no quadro 56, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L5G₁.

Quadro 56: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L5G₁

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO			
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
CONCEITO DE ALEATORIEDADE: imprevisibilidade de trajetórias de partículas	Discurso de senso comum	--	L5G ₁	--	--
	Discurso próximo do gênero científico	L5G ₁	--	--	--
	Discurso elucidativo ao jogo	--	--	L5G ₁	L5G ₁

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 56, L5G₁ revelou três tipos de discursos, quando respondeu a respeito de suas previsões de trajetórias/colisões feitas no desenho 18.

No nível 1, L5G₁ se aproximou do discurso científico, revelando que suas trajetórias foram como havia previsto, porque ninguém sabe ao certo como elas vão ficar. Veja:

L5G₁: Foi, né (risos). Mas ninguém sabe ao certo (risos) como elas vão ficar (risos). (Nível 1).

No nível 2, a jogadora apresentou um discurso de senso comum, porque utilizou o termo “dispersaram”, para justificar que suas trajetórias foram mais ou menos, como previu. Observe:

L5G₁: Mais ou menos, porque elas dispersaram bastante, tanto foram para a esquerda quanto para a direita, centralizou. Agora esse momento de matar as azuis no início porque elas estavam todas juntas, é mais fácil de tentar matar toda ela de uma vez e, depois, tentar se livrar das laranjas sem colidir com elas. (Nível 2).

Verificamos na resposta do nível 2, uma construção de esquemas de L5G₁ já nesse momento, pois teve a percepção quanto à disposição inicial das partículas no jogo que propicia o jogador a efetuar um maior número de colisões no início do jogo.

No nível 3, a jogadora revelou que suas previsões de trajetórias foram como previu, e no nível 4, mais ou menos. Assim, suas justificativas quanto a esta resposta indicaram discursos mais elucidativos ao jogo, como indicam suas falas:

L5G₁: Não! Ahhh, devido à movimentação, que é muito rápido. O movimento é muito rápido. Daí, além de você ter que prestar atenção com os olhos, tem o seu dedo ali jogando. (Nível 3).

L5G₁: Mais ou menos, como eu falei, agora tem que ter mais atenção, porque tem mais bolinhas, vai ser mais rápido. (Nível 4).

A jogadora revelou também nas últimas respostas a questão da movimentação das partículas no jogo e da atenção devido à quantidade de partículas.

Concluimos que o contexto vivenciado por L5G₁, no que diz respeito às previsões das trajetórias feitas antes de jogar cada nível e após o jogo, lhe proporcionou vivenciar a

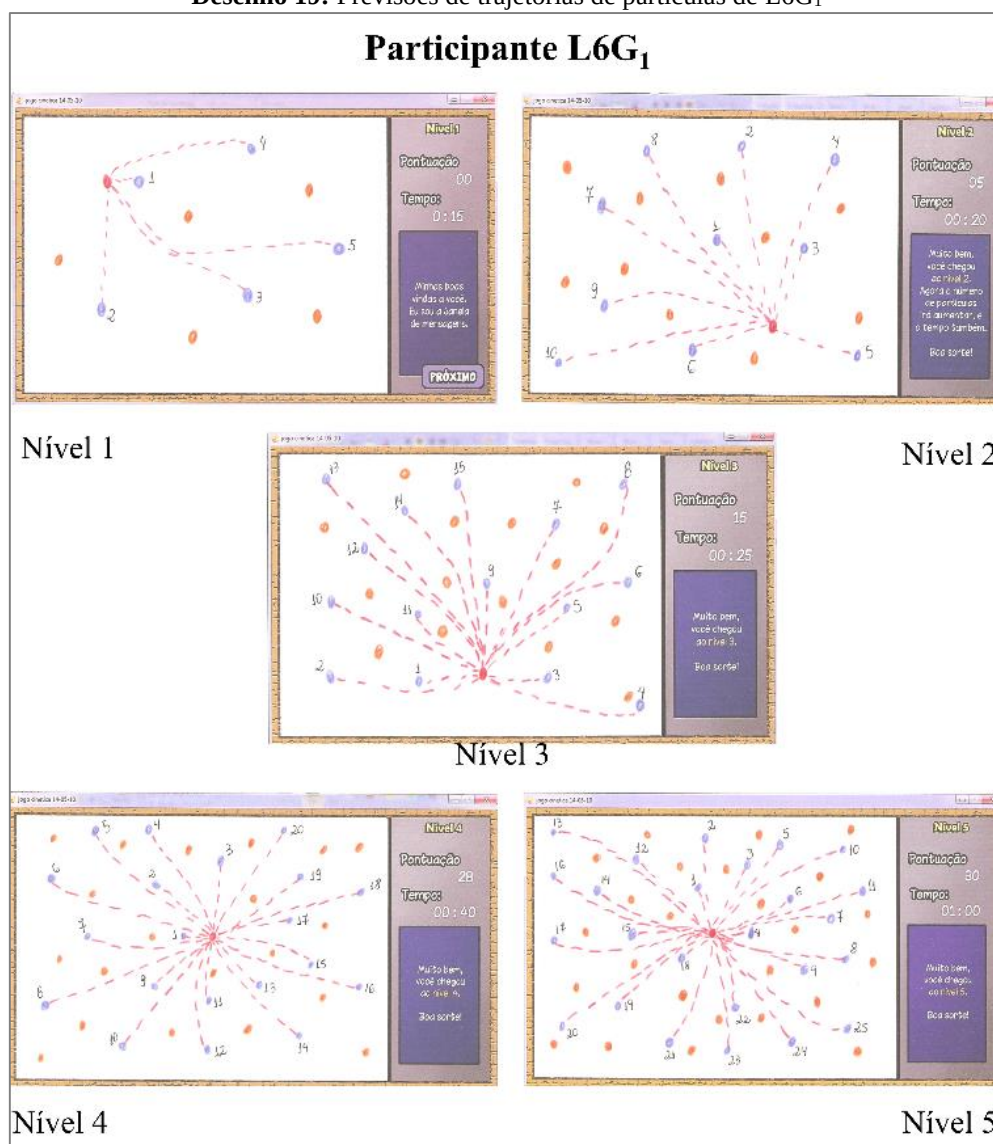
imprevisibilidade das trajetórias das partículas. Porém, conforme o desenho 18 e o quadro 56, podemos concluir que os contextos propostos nos níveis do jogo digital foram importantes para verificarmos que L5G₁ necessita apreender o conceito de aleatoriedade, para compreender a imprevisibilidade de trajetórias de partículas.

Na sequência, as análises e discussões de L6G₁.

6.5.6 Participante L6G₁

Seguem, no desenho 19, as ilustrações das previsões de trajetórias/colisões de L6G₁, para cada nível 1, 2, 3, 4 e 5 do jogo digital.

Desenho 19: Previsões de trajetórias de partículas de L6G₁



Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o desenho 19, L6G₁ se aproximou do padrão 05 somente nos níveis 1, 3 e 4, porque previu as duas primeiras colisões do lado esquerdo e, nos níveis 2 e 5, previu mais ao meio. É importante ressaltar que, no nível 1, as trajetórias são possíveis, pois a quantidade de partículas permite a disposição, como L6G₁ previu.

No desenho 19, não há uma distribuição homogênea das partículas, porque verificamos uma linearidade nas ilustrações dos cinco níveis, por exemplo, ao olharmos para o nível 4 e 5, podemos perceber uma fileira de partículas laranjas e azuis na parte inferior. Nas linhas tracejadas em vermelho, L6G₁ também fez trajetórias curvas.

Segue no quadro 57, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L6G₁.

Quadro 57: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L6G₁

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO				
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE: imprevisibilidade de trajetórias de partículas	Discurso de gênero científico	--	L6G ₁	--	--	--
	Discurso próximo do gênero científico	L6G ₁	--	L6G ₁	--	--
	Discurso elucidativo ao jogo	--	--	--	L6G ₁	L6G ₁

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 57, L6G₁ revelou três tipos de discursos quando respondeu a respeito de suas previsões de trajetórias/colisões feitas no desenho 19.

Nos níveis 1 e 3, verificamos que L6G₁ se manteve na subcategoria discurso próximo do gênero científico, pois utilizou palavras que elucidam a imprevisibilidade de trajetórias de partículas, como confirmam suas respostas:

L6G₁: Não! Ah, isso aí (falando das partículas do jogo) nunca vai estar igual, você nunca vai saber onde ele (falando do gás) vai estar. (Nível 1).

L6G₁: Não! Nada a ver (risos). As trajetórias tudo perdida. (Nível 3).

L6 G₁: Ah, eu não sei, não tem explicação! Cada hora bate de um jeito, as moléculas, se chocam de uma forma diferente, acaba fazendo um movimento, sei lá! Estranho. Um caos. (Nível 3).

No nível 2, constatamos um discurso de gênero científico do jogador, quando questionado se suas previsões de trajetórias das partículas no desenho 19, nível 2 tinham sido como previstos. Observe sua fala:

L6G₁: É, as trajetórias, como eu já disse, não tem como a gente prever para onde ela vai parar e tudo mais. Mas, pela previsão de dispersão, eu acho que ficou dentro. (Nível 2).

Nos níveis 4 e 5, L6G₁ se manteve na subcategoria discurso elucidativo ao jogo, porque suas falas acenam para o espanto quanto à sua vivência no jogo e seu desenho 19. Confira:

L6G₁: Ah ohhhh (risos e espanto). Dá para imaginar muito essas trajetórias loucas! (Risos e espanto). (Nível 4).

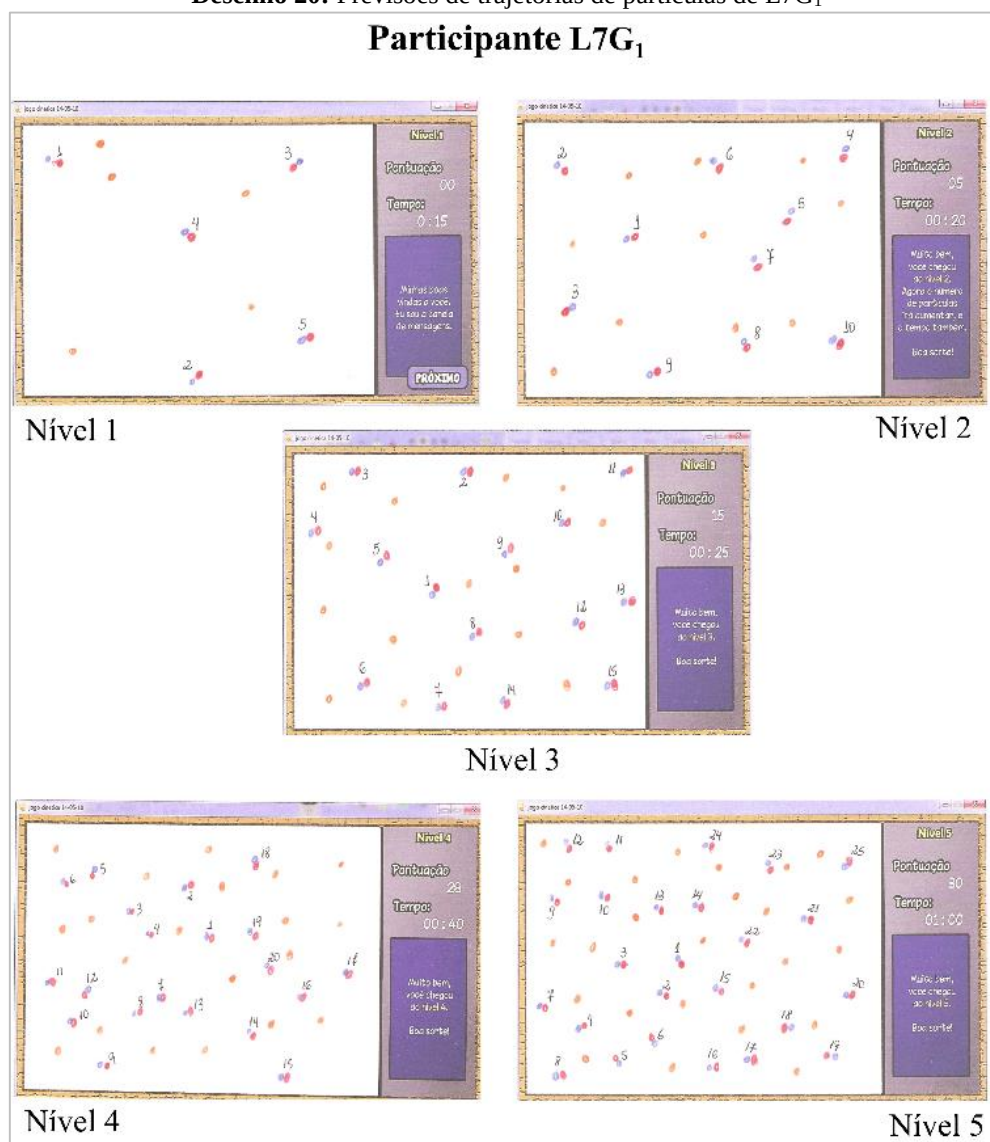
L6G₁: Não, (risos e gargalhadas). É muita bolinha (risos). Muita bolinha, (risos). (Nível 5).

Conforme Piaget (1987, 2012), os contextos propostos nos níveis do jogo digital nos levaram a concluir que o participante não levou em consideração os saberes vivenciados a cada objeto novo, ou seja, a cada nível. Esse fato é constatado na análise do desenho 19, pois L6G₁ não levou em consideração a organização das partículas azuis para propor as primeiras colisões do lado esquerdo dos níveis, desenho 19. O jogador revelou melhor suas ideias quanto à categoria investigada em seus discursos, conforme quadro 57, do que por meio de ilustrações.

Na sequência, as análises e discussões de L7G₁.

6.5.7 Participante L7G₁

Seguem, no desenho 20, as ilustrações das previsões de trajetórias/colisões de L7G₁, para cada nível 1, 2, 3 e 4 do jogo digital.

Desenho 20: Previsões de trajetórias de partículas de L7G₁

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o desenho 20, L7G₁ se aproximou do padrão 05, porque previu as três primeiras colisões do lado esquerdo nos níveis 2, 3, 4 e 5. No nível 1, apesar de a participante não ter alcançado o padrão 05, a previsão é provável.

Verificamos no desenho 20 que L7G₁ não utilizou linhas para indicar as colisões; ao invés disso, representou a partícula vermelha próxima da azul. Outro fato observado foi que L7G₁ se aproximou de uma distribuição homogênea a qual almejamos, somente no nível 2, pois nos níveis 3, 4 e 5, há uma linearidade na disposição das partículas azuis com vermelhas.

Seguem, no quadro 58, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L7G₁.

Quadro 58: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L7G₁

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO				
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE: imprevisibilidade de trajetórias de partículas	Discurso próximo do gênero científico	--	--	--	--	L7G ₁
	Discurso elucidativo ao jogo	L7G ₁	L7G ₁	L7G ₁	L7G ₁	--

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 58, L7G₁ revelou dois tipos de discursos, quando respondeu a respeito de suas previsões de trajetórias/colisões feitas no desenho 20.

Nos níveis 1, 2, 3 e 4, verificamos que L7G₁ se manteve na subcategoria discurso elucidativo ao jogo, porque atentou às regras do jogo, para justificar suas trajetórias no desenho 20. Essa confirmação foi evidenciada por meio das falas:

L7G₁: É, foi mais ou menos, só o lugar em que elas colidiram que não foi muito. Mas foi igual eu pensei que fosse, eu só errei o lugar em que elas colidiram. (Nível 1).

L7G₁: Mais ou menos, porque agora eu tenho a impressão de que as bolinhas estão um pouquinho mais rápidas e a quantidade por ter aumentado. Aí, eu tinha uma maior quantidade de bolinhas laranja para me esquivar. (Nível 2).

L7G₁: É, foi um pouquinho mais difícil, né, do que eu imaginei, (risos), porque a princípio eu tinha feito todo um esquema ali de passar entre os vãosinhos, com mais espaços para chegar nas azuis. Aí, eu acabei me desesperando em alguns momentos, né, por causa das bolinhas laranja. Mas tem menos espaço do que eu imaginei, devido à quantidade de partícula laranja que aumentou assim como as azuis. Daí, dificultou um pouco mais. Deixei uma azul sem colidir, eu acho que foi isso, que acabou ficando devido ao tempo mesmo. (Nível 3).

L7G₁: Eu estou tentando! É, mais ou menos. Eu tento vir para o lado das azuis e abater o máximo de azuis possível. Mas não sei como, quer dizer, eu sei como, as laranjas chegam muito rápido do outro lado. Não dá nem tempo de abater as azuis possíveis e as laranjas já estão lá à minha espreita. (Nível 4).

Nas falas de L7G₁, podemos perceber um pensar, refletir e evoluir a cada nível jogado, pois compreendeu que suas previsões foram mais ou menos como previu, justificando este pensar a partir do nível 2, a quantidade e velocidade de partículas e o espaço.

No nível 5, a jogadora apresentou um discurso próximo do gênero científico, ao responder que suas trajetórias foram mais ou menos como previsto no desenho 20, nível 5, devido ao movimento desordenado. Observe:

L7G₁: Foi mais ou menos como eu imaginava: uma superlotação e um movimento totalmente desordenado e uma dificuldade danada. (Nível 5).

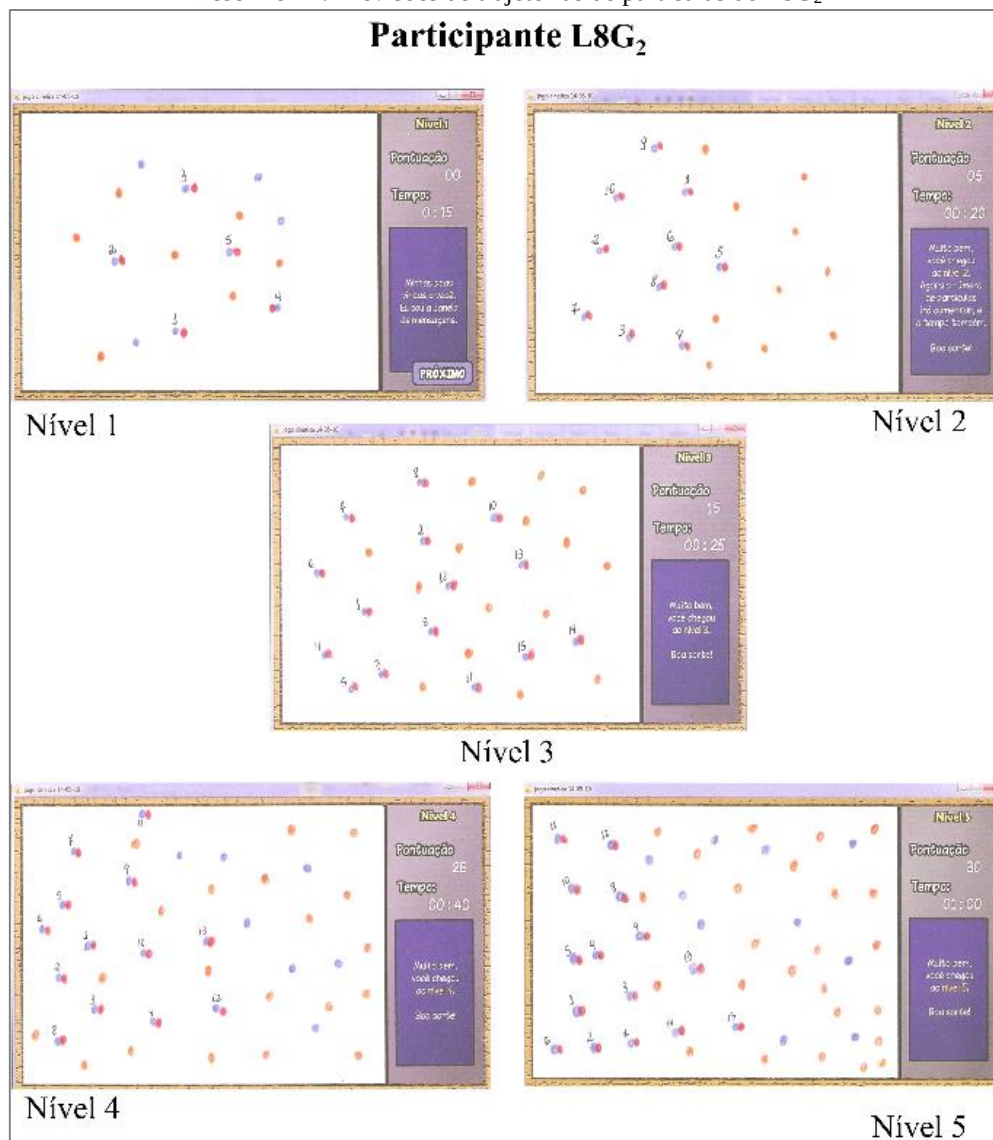
Conforme Piaget (1987, 2012), concluímos que os contextos propostos nos níveis do jogo digital foram importantes, para verificarmos a evolução e superação de L7G₁ em proferir discursos elucidativos ao jogo, para um discurso próximo do gênero científico (quadro 58).

Na sequência, as análises e discussões de L8G₂.

6.5.8 Participante L8G₂

Seguem, no desenho 21, as ilustrações das previsões de trajetórias/colisões de L8G₁ para cada nível 1, 2, 3, 4 e 5 do jogo digital.

Desenho 21: Previsões de trajetórias de partículas de L8G₂



Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o desenho 21, apesar de L8G₂ ter previsto as primeiras colisões do lado esquerdo, também previu todas as colisões desse lado; no contexto do jogo, este resultado, para não dizer impossível, seria pouquíssimo provável. Com isso, não há uma distribuição homogênea das partículas.

No nível 1, apesar de L8G₂ ter alcançado o padrão 05, há partículas a mais ilustradas. Assim, somente no nível 3, percebemos uma melhor disposição das partículas, mas ainda insatisfatória, mesmo tendo previsto as primeiras colisões do lado esquerdo.

Constatamos que L8G₂ também indicou as trajetórias/colisões, ilustrando uma partícula vermelha ao lado da azul, assim como também fez L7G₁.

Seguem, no quadro 59, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L8G₂.

Quadro 59: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L8G₂

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO				
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE: imprevisibilidade de trajetórias de partículas	Discurso de senso comum	L8G ₂	L8G ₂	L8G ₂	L8G ₂	--
	Discurso elucidativo ao jogo	--	--	--	--	L8G ₂

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 59, L8G₂ revelou dois tipos de discursos, quando respondeu a respeito de suas previsões de trajetórias/colisões feitas no desenho 21.

Nos níveis 1, 2, 3 e 4, verificamos que L8G₁ se manteve na subcategoria discurso de senso comum, porque se atentou às regras do jogo e utilizou palavras, como “espalhar e misturar”, para justificar que suas trajetórias no desenho 20, nível 1 e 2 não foram como havia imaginado: nível 3, mais ou menos e nível 4, parecidas. Confira suas respostas:

L8G₂: Não (risos)! Ah, não sei! Eu achei que as azuis ficaram bem mais para cá (mostrando o lado esquerdo do desenho), depois que começou a haver a colisão que daí elas começaram a se espalhar bem mais. E aí, eu percebi também que, quando colidem com elas, ficam bem mais lentas. (Nível 1).

L8G₂: As trajetórias não. Mas é realmente o que eu imaginava, é que elas (partículas do jogo) iam demorar mesmo para se espalhar. Então, eu tentei colidir com o máximo de bolinhas no começo mesmo. (Nível 2).

L8G₂: Mais ou menos! No começo elas ficaram bem mais juntas. Aí, conforme vai colidindo com elas (falando das partículas do jogo) vão se espalhando. (Nível 3).

L8G₂: É, foi! Parecidas até! Porque, na verdade, conforme vai indo o jogo, elas vão se movimentando mais. Mas no começo foi mais ou menos parecido. Ficaram mais para cá, depois começaram a se misturar. E eu fui bem mais calma agora (risos), não fui tão apavorada para passar (risos). (Nível 4).

No nível 5, a jogadora apresentou um discurso mais relacionado ao jogo, para justificar que suas previsões de trajetórias no nível 5 não foram como imaginou. Verifique:

L8G₂: Não! Eu não achei que elas ficariam tão aglomeradas assim (falando das suas colisões no desenho). Eu acho que é porque tem muito (falando das azuis) não dá para colidir muito no início. (Nível 5).

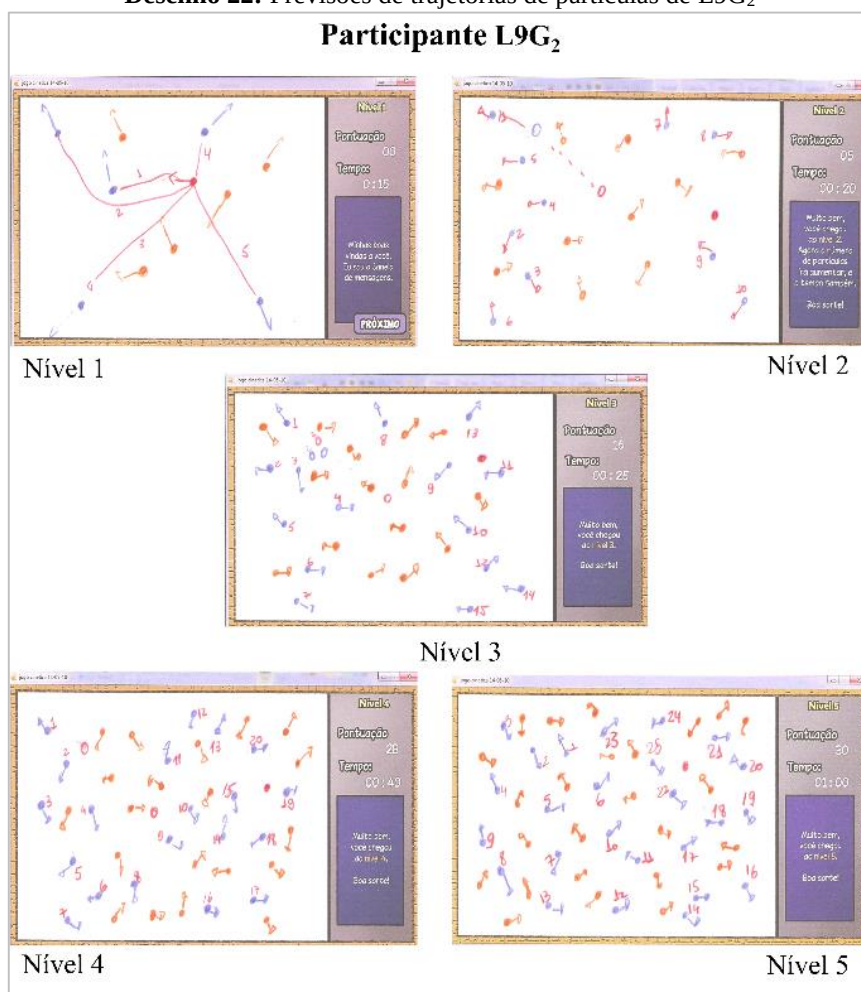
Em vista dos dados obtidos, ao analisarmos o quadro 23, com o 26, notamos que a participante L8G₂ se manteve na subcategoria discurso de senso comum. Além disso, no quadro 19, não soube elucidar o conceito de irreversibilidade. Este dado nos chama atenção, pois os dados do quadro 28 revelam uma acadêmica do 6º período do curso, com boa parte das disciplinas cursadas na licenciatura em química.

Podemos concluir que os contextos vivenciados por L8G₂ não lhe proporcionaram elucidar cientificamente os conceitos investigados.

Na sequência, as análises e discussões de L9G₂.

6.5.9 Participante L9G₂

Seguem, no desenho 22, as ilustrações das previsões de trajetórias/colisões de L9G₁, para cada nível 1, 2, 3, 4 e 5 do jogo digital.

Desenho 22: Previsões de trajetórias de partículas de L9G₂

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o desenho 22, L9G₁ alcançou o padrão 05, porque previu as primeiras colisões do lado esquerdo nos níveis 2, 3, 4 e 5.

No nível 1, apesar de o participante não ter alcançado o padrão 05, a previsão é provável. Constatamos também, neste nível, a presença de linhas vermelhas em curvas e em linhas retas para indicar a trajetória da partícula vermelha, setas de cor azul para indicar as trajetórias das partículas azuis e setas laranjas para indicar as trajetórias das partículas laranjas.

No desenho 22, averiguamos que L9G₂ não ilustrou trajetórias nos cantos, principalmente nos níveis 2 e 3, portanto se aproximou mais de uma distribuição homogênea no nível 5. Este resultado pode ter ocorrido devido ao aumento do número de partículas no sistema.

Segue no quadro 60, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L9G₂.

Quadro 60: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L9G₂

CATEGORIA	SUBCATEGORIA	UNIDADES DE REGISTRO				
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE: imprevisibilidade de trajetórias de partículas	Discurso elucidativo ao jogo	L9G ₂	L9G ₂	L9G ₂	L9G ₂	L9G ₂

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 60, L9G₂ apresentou apenas o discurso do tipo elucidativo ao jogo, quando questionado se suas previsões de trajetórias/colisões foram como previstas no desenho 19, pois atentou às regras do jogo, para justificar que as trajetórias foram mais ou menos como havia imaginado. Isso é o que reportam as suas falas:

L9G₂: Não foi muito, muito parecido. Mas ficaram 3 bolinhas azuis desse lado (mostrando o lado esquerdo no desenho). Só que a vermelha não ficou. (Nível 1).

L9G₂: Deixa eu ver (pensando). É, não foi tanto assim! As laranjas ficaram mais para cá (falando do lado direito) e eu achei que elas iam ficar mais lá (falando do lado esquerdo). (Nível 2).

L9G₂: Mais ou menos, né! Porque a última colisão ficou aqui em baixo (falando da sua última colisão no jogo). (Nível 3).

L9G₂: Mais ou menos, né! (Risos). É muita bolinha laranja (risos). (Nível 4).

L9G₂: Ah sei lá! É muitas bolinhas (risos). (Nível 5).

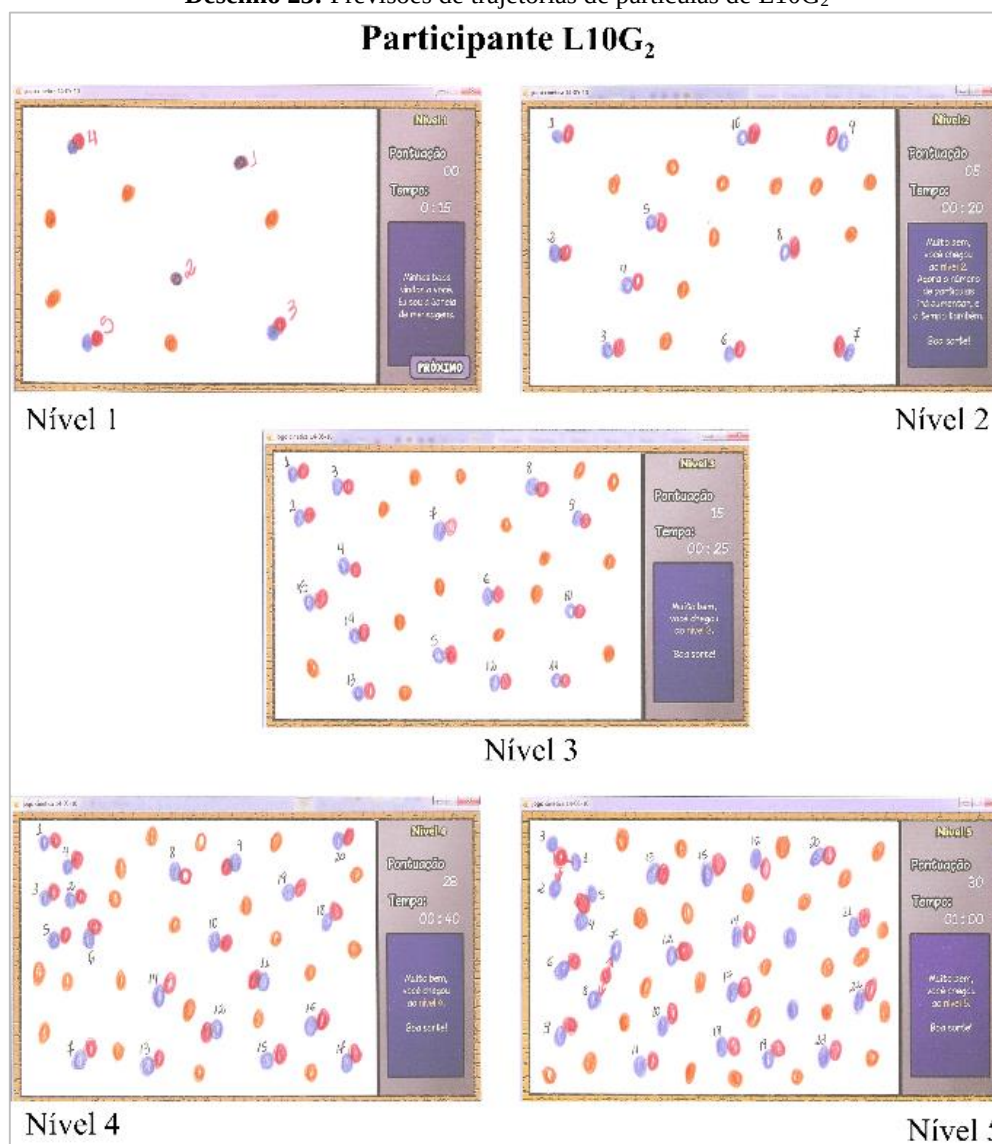
Os contextos propostos nos níveis do jogo digital foram importantes para verificarmos uma manutenção do participante em propor as trajetórias de partículas no desenho 22, revelando uma percepção de aleatoriedade.

No entanto, conforme o quadro 60, o participante não revelou saberes inerentes à imprevisibilidade de trajetórias de partículas.

Na sequência, as análises e discussões de L10G₂.

6.5.10 Participante L10G₂

Seguem, no desenho 23, as ilustrações das previsões de trajetórias/colisões de L10G₂, para cada nível 1, 2, 3 e 4 do jogo digital.

Desenho 23: Previsões de trajetórias de partículas de L10G₂

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o desenho 23, L10G₂ se aproximou do padrão 05 nos níveis 1, 2, 3, 4 e 5, porque previu as primeiras colisões do lado esquerdo. Mas, no nível 1, não obteve o mesmo resultado, porque previu as três primeiras colisões do lado direito.

No desenho 23, não há uma distribuição homogênea das partículas porque verificamos grupos e sequências de partículas, por exemplo, no nível 2, visualizamos ao meio uma representação em forma de T das partículas laranjas; no nível 3, ilustrou uma fileira do lado esquerdo de partículas azuis; nos níveis 4 e 5, ilustrou grupos de azuis do lado esquerdo.

A maneira do jogador representar as primeiras colisões em fileiras ou em grupos do lado esquerdo pode ter ocorrido devido à disposição inicial das partículas azuis no início de cada nível do jogo.

Seguem, no quadro 61, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L10G₂.

Quadro 61: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L10G₂

CATEGORIA	SUBCATEGORIA	UNIDADES DE REGISTRO				
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE: imprevisibilidade de trajetórias de partículas	Discurso elucidativo ao jogo	L10G ₂	L10G ₂	L10G ₂	L10G ₂	L10G ₂

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 61, L10G₂ apresentou apenas o discurso do tipo elucidativo ao jogo, quando questionado se suas previsões de trajetórias/colisões foram como previstas no desenho 19, pois atentou às regras do jogo para justificar que elas não foram como havia imaginado, revelando apenas no nível 4 que foi. Suas respostas, destacam:

L10G₂: Não. Eles (falando das partículas do jogo) não ficaram tão dispersos. E depois aumentou a velocidade dos que colidiu. (Nível 1).

L10G₂: Também não. Ah, no começo, foi mais à esquerda (falando das colisões), as azuis, eu fui colidindo com elas, daí aumentou a velocidade. Daí começou a se aproximar as laranjas. (Nível 2).

L10G₂: Foi (risos). Não lembro mais! De certa forma, sim. Eu falei que eu aí começar pelo canto superior e eu comecei pelo inferior, porque as bolinhas laranja estavam vindas mais para cima. Desvie delas! (Nível 3).

L10G₂: É, foi. Elas (falando das partículas) ficaram mais agitadas (risos), maior velocidade. Conforme foi colidindo com essas brancas aí, também aumentou a velocidade delas. (Nível 4).

L10G₂: Não (risos). Eu não consegui colidir com todas mesmo (risos). (Nível 5).

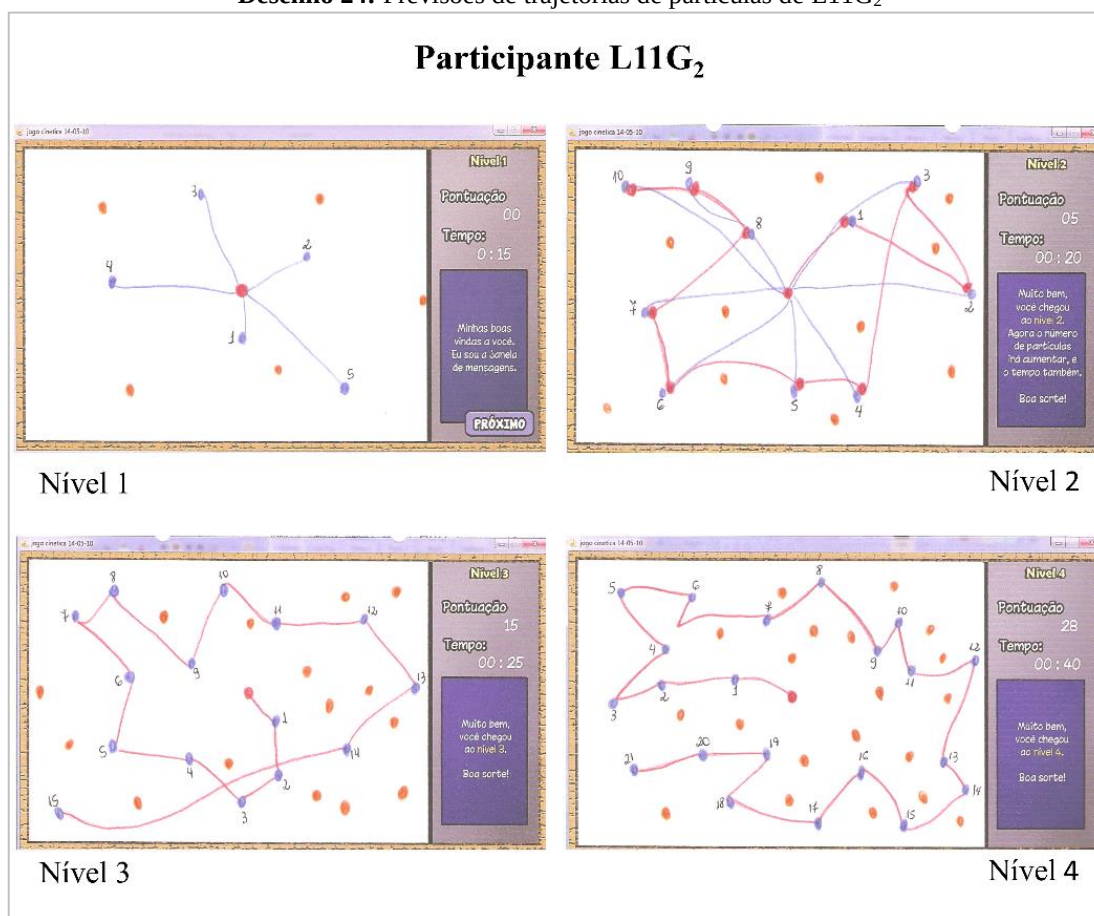
Conforme Piaget (1987, 2012), os contextos propostos nos níveis do jogo digital foram importantes para verificarmos que L10G₂ levou em consideração a vivência do jogo desde o nível 1, desenho 23, pois ilustrou as primeiras colisões do lado direito, depois, nos demais níveis, as manteve do lado esquerdo.

No entanto, conforme o quadro 61, o participante não revelou saberes inerentes à imprevisibilidade de trajetórias de partículas.

Na sequência, as análises e discussões de L11G₂.

6.5.11 Participante L11G₂

Seguem, no desenho 24, as ilustrações das previsões de trajetórias/colisões de L11G₂, para cada nível 1, 2, 3 e 4 do jogo digital.

Desenho 24: Previsões de trajetórias de partículas de L11G₂

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o desenho 24, L11G₂ previu no nível 1, a primeira colisão no meio e a segunda do lado direito; nos níveis 2 e 3, previu as três primeiras colisões do lado direito; portanto não se aproximou do padrão nos níveis 1, 2 e 3.

No nível 4, verificamos no desenho 24 que L11G₂ previu as seis primeiras colisões do lado esquerdo, não alcançando o padrão 05.

Observamos no desenho 24 que L11G₂ foi mudando sua maneira de representar as trajetórias das partículas. Assim, no nível 1 utilizou linhas azuis para indicar a trajetória da partícula vermelha indo até a azul. No nível 2, ilustrou com linhas curvas a colisão da vermelha com a azul juntas. Nos níveis 3 e 4, já não representou a vermelha do lado da azul, mantendo somente a linha vermelha em curvas para as trajetórias da vermelha até a azul. Com isso, notamos no desenho 24, que o jogador não distribuiu as partículas de maneira homogênea, porque priorizou as azuis próximo aos cantos.

Seguem, no quadro 62, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L11G₂.

Quadro 62: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L11G₂

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO			
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
CONCEITO DE ALEATORIEDADE: imprevisibilidade de trajetórias de partículas	Discurso próximo do gênero científico	--	L11G ₂	L11G ₂	--
	Discurso elucidativo ao jogo	L11G ₂	--	--	L11G ₂

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 62, L11G₂ revelou dois tipos de discursos, quando respondeu a respeito de suas previsões de trajetórias/colisões feitas no desenho 24.

Nos níveis 2 e 3, L11G₂ se manteve na subcategoria discurso próximo do gênero científico, porque verificamos em suas falas o emprego de termos que se aproximam da categoria investigada, quando justificou que suas trajetórias no desenho 24 não foram tanto parecidas como havia imaginado. Observe:

L11G₂: Foi mais ou menos. Não tanto. Mas, mais ou menos! Porque ali (falando do momento do jogo) as bolas se movimentam e se colidem com as outras. Então não tem previsão! Não tem como saber exatamente como vai estar a trajetória no desenho e no jogo! (Nível 2).

L11G₂: Por causa da movimentação que é incerta eu não sei onde as bolinhas vão estar. Elas têm vários movimentos. (Nível 3).

Nos níveis 1 e 4, L11G₂ se manteve na subcategoria discurso elucidativo ao jogo, porque atentou às regras do jogo, para justificar que no nível 1 suas previsões de trajetórias de partículas foram sim como havia imaginado, mas, no nível 4, não. É o que indicam suas falas:

L11G₂: Sim. Foi. Eu fui ao encontro das bolinhas, né. Depois a gente vai arrastando ela (vermelha). (Nível 1).

L11G₂: Não (risos). Eles (partículas) começam muito a vir em cima da gente. Nos outros, não vêm assim, muito em cima. (Nível 4).

Conforme Piaget (1987, 2012), os contextos propostos nos níveis do jogo digital nos levaram a concluir que o participante levou em consideração os saberes vivenciados a cada objeto novo, ou seja, a cada nível. Esse dado é comprovado na análise do desenho 24, pois L11G₂, desde o nível 1, foi mudando sua maneira de prever as trajetórias de partículas, ilustrando no nível 4, desenho 24, as primeiras colisões do lado esquerdo. Portanto apreendeu que a disposição inicial das partículas azuis favorece as primeiras colisões desse lado.

Dado o evidenciado, concluímos que L11G₂ obteve um avanço em seus discursos, porque na aplicação das etapas e dos níveis se manteve na subcategoria discurso de senso comum (quadro 23). Já no quadro 26, constatamos nos níveis 2 e 3 discursos próximos do

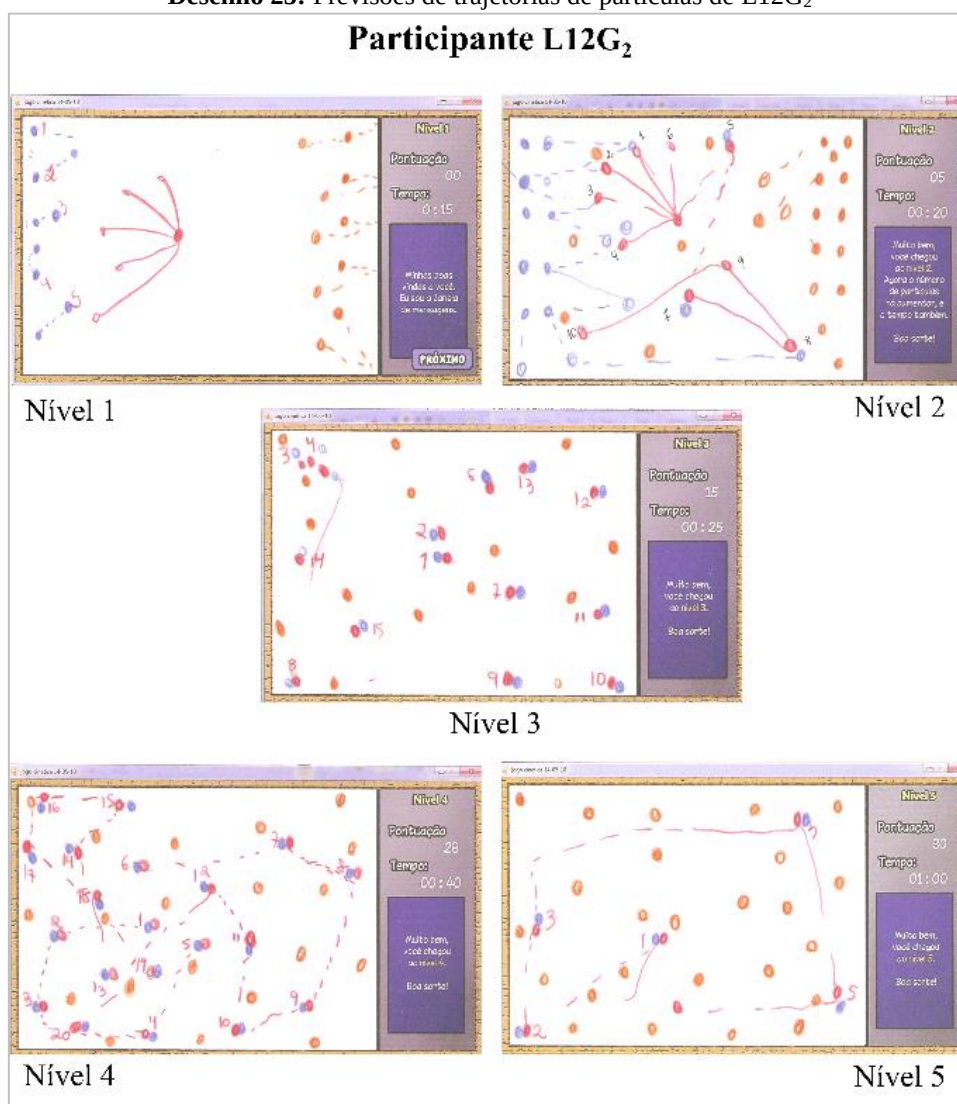
gênero científico. E, conforme o quadro 62, L11G₂ revelou conceitos próximos da categoria investigada, portanto carece apenas de reelaborar melhor suas ideias para um saber científico.

Na sequência, as análises e discussões de L12G₂.

6.5.12 Participante L12G₂

Seguem, no desenho 25, as ilustrações das previsões de trajetórias/colisões de L12G₂, para cada nível 1, 2, 3, 4 e 5 do jogo digital.

Desenho 25: Previsões de trajetórias de partículas de L12G₂



Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o desenho 25, L12G₂ alcançou o padrão 05 em todos os níveis do jogo, porque previu as três primeiras colisões do lado esquerdo.

Nos níveis 1 e 2, L12G₂ ilustrou a disposição inicial das partículas, ou seja, as azuis do lado esquerdo e as laranjas do lado direito, e também representou com linha vermelha em curva as trajetórias da partícula vermelha. No nível 3, ilustrou somente um risco vermelho da colisão de número 14. Nos níveis 4 e 5, indicou em tracinhos vermelhos as trajetórias que indicam a colisão da vermelha com a azul. Outro fato observado foi que o jogador ilustrou no nível 5 somente cinco colisões da partícula vermelha com a azul.

Nas análises do desenho 25, averiguamos, somente no nível 3, uma aproximação de distribuição homogênea das partículas. Portanto o participante pode não ter distribuído as partículas de maneira homogênea nos demais níveis, principalmente no nível 4 (mais colisões do lado esquerdo), devido às regras do jogo.

Segue no quadro 63, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L12G₂.

Quadro 63: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L12G₂

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO				
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE: imprevisibilidade de trajetórias de partículas	Discurso próximo do gênero científico	--	--	--	--	L12G ₂
	Discurso de senso comum	--	L12G ₂	--	--	--
	Discurso elucidativo ao jogo	L12G ₂	--	L12G ₂	L12G ₂	--

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 63, L12G₂ revelou três tipos de discursos, quando respondeu a respeito de suas previsões de trajetórias/colisões feitas no desenho 25.

Nos níveis 1, 3 e 4, verificamos que L12G₂ se manteve na subcategoria discurso elucidativo ao jogo, porque utilizou palavras que reportam às regras do jogo. Confira:

L12G₂: Não! As trajetórias foram um pouco mais diferentes. Eu achei que daria tempo de eu trombar elas (falando das azuis) antes delas passarem do meio. (Nível 1).

L12G₂: Não. Eu acabei de descobrir que não adianta eu ficar correndo muito assim, muito atrás das bolinhas porque, conforme mais rápido eu trombar nelas, mais rápidas elas vão ficar. Então, daí, fica mais difícil, o ideal é você ir devagarzinho e buscando. Então, não foi nada do que eu previ, por causa disso, eu estava indo muito rápido. E, na última, eu fiz mais ou menos, fui contornando, devagarzinho, mas não necessariamente o mesmo caminho. (Nível 3).

L12G₂: Agora foi. Depois de várias tentativas. Não consegui o objetivo, mas, assim, foi como eu pensei, eu vou ter que ir devagar e buscando colidir (falando da azul) com as que estiver bem próxima e que não oferecer perigo para uma laranja chegar até a vermelha e dar “game over”. (Nível 4).

Nas falas acima, verificamos que nos níveis 1 e 3 o jogador percebeu que suas trajetórias de partículas não foram como havia previsto no desenho 25. Mas, no nível 4, ao mudar sua estratégia de jogo, revelou ter sido sim.

L12G₂ apresentou discurso de senso comum, ao justificar que suas trajetórias de partículas foram como havia previsto no desenho 25, nível 2, como indica sua fala:

L12G₂: Foi. Foi sim. Eu tive que ir buscando as azuis, né, para conseguir colidir e fugindo da laranja. Todas dispersas conforme está aí (falando do jogo). (Nível 2).

Ao analisar o desenho 25, nível 2 e a resposta do nível 2, percebemos certa incoerência do jogador, uma vez que falou de um sistema disperso, uma concepção de senso comum. Mas não representou as partículas dispersas no desenho 25 (nível 2), pois constatamos as seis primeiras colisões na parte superior.

No nível 5, constatamos um discurso próximo do gênero científico de L12G₂, quando questionado se suas previsões de trajetórias das partículas no desenho 25 (nível 5) tinha sido como previsto. Observe sua resposta:

L12G₂: Não, não, como eu propus aqui não. Eu não consegui fazer esse caminho (falando o seu desenho) por esse motivo, eu não consigo saber, se eu jogar de novo, ele (falando das partículas do jogo) não vai fazer o mesmo caminho. Então, não tem como eu ir jogando e bolando uma estratégia e saber exatamente aonde vai cada partícula (falando das partículas do jogo). (Nível 5).

Na resposta do nível 5, o jogador compreendeu que suas previsões de trajetórias não foram como havia imaginado, portanto apreendeu que ‘*não tem como eu ir jogando e bolando uma estratégia e saber exatamente aonde vai cada partícula*’, ou seja, devido à aleatoriedade do sistema, as trajetórias das partículas são imprevisíveis.

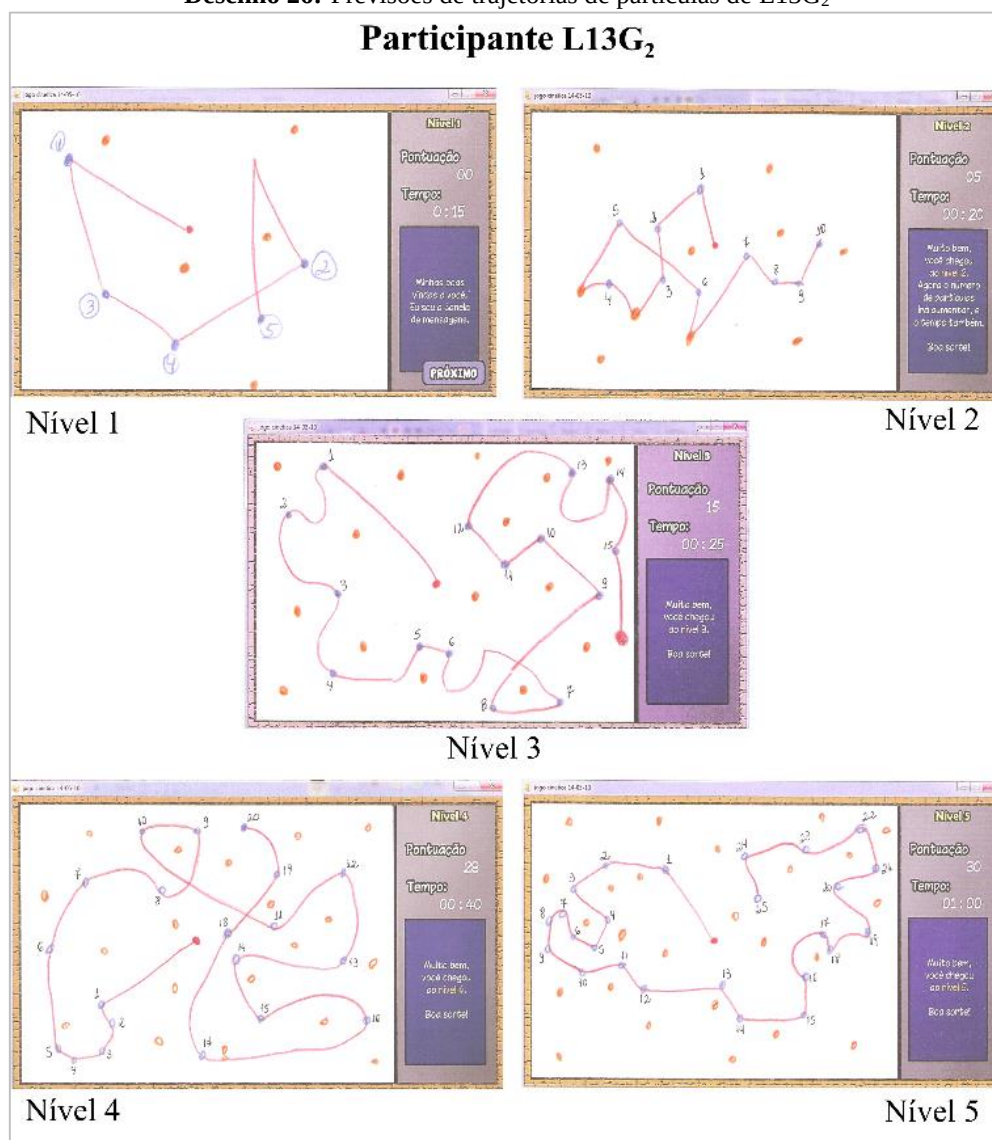
Conforme Piaget (1987, 2012), ao analisar o desenho 25, concluímos que os contextos propostos nos níveis do jogo digital foram importantes para verificarmos a construção de esquemas do participante que os assimilou a cada nível do jogo, principalmente no nível 5.

No quadro 63, também verificamos uma evolução do participante, visto que no último nível se aproximou de um discurso próximo do conceito investigado, precisando reelaborar melhor suas ideias, para explicar cientificamente a imprevisibilidade de trajetórias de partículas.

Na sequência, as análises e discussões de L13G₂.

6.5.13 Participante L13G₂

Seguem, no desenho 26, as ilustrações das previsões de trajetórias/colisões de L13G₂, para cada nível 1, 2, 3, 4 e 5 do jogo digital.

Desenho 26: Previsões de trajetórias de partículas de L13G₂

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o desenho 26, L13G₂ não se aproximou do padrão 05 somente no nível 1, porque previu a colisão de número dois do lado direito. Em todos os níveis, observamos a trajetória da partícula ilustrada com a cor vermelha em linhas retas e curvas.

Apesar de L13G₂ não ter alcançado padrão 05 no nível 1, sua previsão é provável e se aproxima de um sistema homogêneo.

No entanto, nos demais níveis, não constatamos uma distribuição homogênea das partículas, uma vez que, nos níveis 3, 4 e 5 visualizamos as azuis em torno das paredes, principalmente nos níveis 3 e 4; no nível 2, concentrou as azuis mais ao meio do desenho 26. Este resultado pode ter ocorrido devido a vários fatores, como: influência das regras do jogo, objetivo do jogador no jogo, dificuldade em transferir para o papel conceitos e/ou esquemas da sua mente.

Por isso, com base na TCG, elucidamos que, apesar de o jogador não ter distribuído as partículas de maneira homogênea no desenho 26, suas previsões são prováveis.

Seguem, no quadro 64, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L13G₂.

Quadro 64: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L13G₂

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO				
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE: imprevisibilidade de trajetórias de partículas	Discurso de senso comum	--	--	L13G ₂	--	--
	Discurso elucidativo ao jogo	L13G ₂	L13G ₂	--	L13G ₂	L13G ₂

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 64, L13G₂ revelou dois tipos de discursos, quando respondeu a respeito de suas previsões de trajetórias/colisões feitas no desenho 26.

Nos níveis 1, 2, 4 e 5, verificamos que L13G₂ se manteve na subcategoria discurso elucidativo, ao justificar que suas previsões de trajetórias de partículas no desenho 26, níveis 1 e 4, não foram como previu e, nos níveis 2 e 5, foram mais ou menos. Observe suas falas:

L13G₂: Não. Na trajetória assim, não aconteceu, né. No caso, a trajetória que eu fiz não aconteceu, né (falando do seu desenho). Eu tinha imaginado de um jeito diferente, porque eu não levei em consideração a velocidade, né, das moléculas. Aí, no caso, tipo como se todas as velocidades fossem constantes. Mas não, que tipo uma teria uma velocidade mais rápida que a outra. Tanto que, no caso, eu fui pegar uma azul ali subindo (falando do momento do jogo) e tipo ela já estava mais rápida que a outra. Daí eu tive que acelerar para pegar a outra molécula. (Nível 1).

L13G₂: Ah, foi mais ou menos. Assim, eu pensei que não ia ter tantas colisões (falando das partículas). Mas as colisões eu já esperava um pouco que teria que ficar alterando as trajetórias da bolinha vermelha. (Nível 2).

L13G₂: Não, porque no nível quatro (pensando), o tanto de moléculas que tinha, eu não consegui associar tanto com os deslocamentos. Eu tive que fazer muito mais deslocamento para chegar em todas as bolinhas azuis do que nos outros níveis, porque ficou muito mais denso, muito mais complicado. Então, eu tive que aumentar muito mais o caminho. Aí, no desenho eu achei que não teria tanto deslocamento assim, eu achei que seriam menos deslocamentos. (Nível 4).

L13G₂: Hummm! Olha! Foi mais ou menos! Até o começo foi, foi bem parecido, mas, depois, no final, foi, foi bem mais, bem mais difícil, bem, bem diferente. Eu achei até mais difícil (pensando), depois, por causa do número da quantidade de molécula que tinha das bolinhas laranja. Aí, foi, foi ficando bem, bem difícil, eu tive que tomar muito tempo para ficar indo atrás das outras bolinhas azuis. (Nível 5).

Conforme Piaget (1987), a cada novo evento, nível do jogo, o participante criou esquemas, organizou e os acomodou, visto que modificou sua maneira de perceber os contextos vivenciados, pois, nas falas acima, revelou sua dificuldade em colidir no jogo, como previsto no desenho 26, devido à diferença de velocidades das partículas, aumento da quantidade de partículas, mais deslocamento da partícula vermelha, principalmente nos níveis 4 e 5.

No nível 3, verificamos que para L13G₂ as partículas laranjas foram como imaginou no desenho 26, ou seja, ficaram espalhadas. Na análise desse desenho (nível 2), esse resultado é confirmado. E, quanto às suas trajetórias, o jogador revelou que não foram. Veja:

L13G₂: Foi, foi assim: das bolas laranja, sim, tipo que ficou bem, bem espalhadas elas (falando das laranjas), né, já esperava isso um pouco. É, quanto à trajetória, não foi! Porque é quando foi feito ali (falando do seu desenho), eu vi que deu muito mais, tipo, muito mais trabalho para você ficar procurando uma bolinha azul com aquele monte de bolinha laranja, né. Aí, no caso você tinha que ficar mais preocupado com as bolinhas laranja e ficar desviando para ir e chegar às bolinhas azuis. E, aqui no desenho, eu coloquei uma trajetória bem mais direta, só que não é bem assim. Por exemplo, às vezes você pensa que vou ter que ir para cá ou para lá, daí tem uma bolinha laranja vindo, então, você tem que subir ir para outro lado. Enquanto isso, as moléculas vão passeando. Daí você tem que ficar alternando, né, até chegar à bolinha azul. (Nível 3).

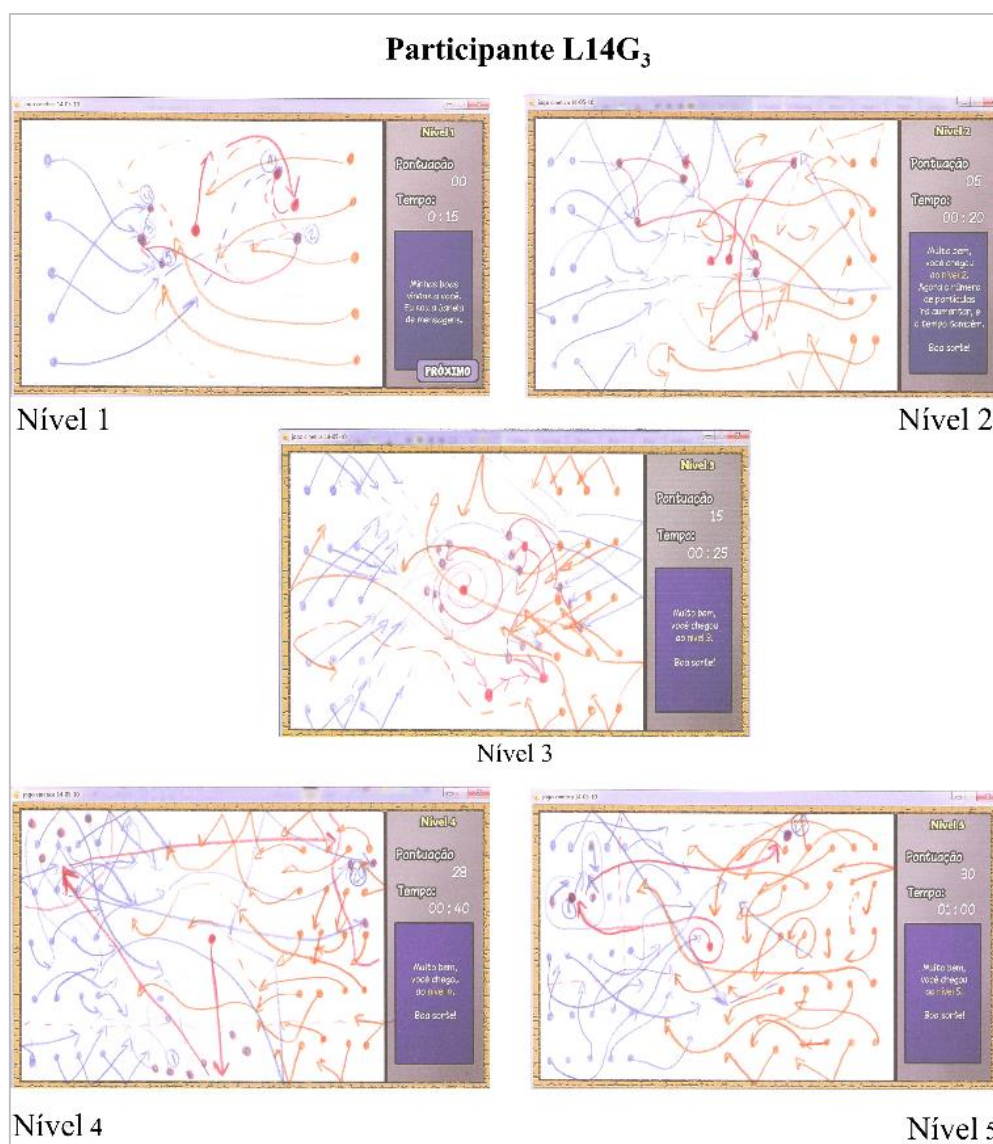
Concluimos que o contexto do jogo proporcionou ao participante pensar, refletir e explicar a respeito de suas previsões de trajetórias no desenho e no jogo, como bem elucidado na resposta do nível 3.

No entanto, conforme o quadro 64, o jogador não apresentou palavras em seus discursos que revelassem seu entendimento científico de imprevisibilidade de trajetórias de partículas. Ele necessita apreender a respeito do assunto investigado.

Na sequência, as análises e discussões de L14G₃.

6.5.14 Participante L14G₃

Seguem, no desenho 26, as ilustrações das previsões de trajetórias/colisões de L14G₂, para cada nível 1, 2, 3, 4 e 5 do jogo digital.

Desenho 27: Previsões de trajetórias de partículas de L14G₂

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o desenho 27, L14G₂ ilustrou as partículas azuis e laranjas como no início do jogo nos cinco níveis. E, também, indicou com traços curvos e retos, para representar as trajetórias das partículas.

Na análise do desenho 27, nível 1, L14G₂ indicou as duas primeiras colisões do lado direito, fugindo do padrão 05. Mas, para esse nível, a distribuição é muito provável.

Nos demais níveis, não podemos inferir as primeiras colisões, uma vez que a jogadora não indicou suas posições. Desse modo, apesar de não ter ilustrado todas as trajetórias das partículas, foi possível constatar uma tentativa de L14G₂ em prever, por meio das setas, as possíveis trajetórias das partículas azuis, laranjas e vermelha.

Outro fato importante que não verificamos até esse momento, foi de L14G₂ ter ilustrado no desenho 27, em todos os níveis, as colisões das partículas azuis e laranjas com a parede do recipiente. Ele nos revelou saberes inerentes à teoria cinética dos gases, ou seja, as partículas no sistema “[...] as moléculas têm trajetórias retilíneas e colidem entre si e com as paredes do recipiente em que estão” (MAIA; BIANCHI, 2007, p. 160).

No caso do desenho 27, verificamos trajetórias curvas; esse fato pode ter ocorrido porque o jogador atua no jogo como partícula vermelha, portanto pode realizar durante os níveis do jogo (com o mouse) percursos de maneira circular e reta.

Seguem, no quadro 65, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L14G₃.

Quadro 65: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L14G₃

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO				
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
CONCEITO DE ALEATORIEDADE: imprevisibilidade de trajetórias de partículas	Discurso próximo do gênero científico	L14G ₃	L14G ₃	--	--	L14G ₃
	Discurso elucidativo ao jogo	--	--	L14G ₃	L14G ₃	--

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 65, L14G₂ revelou dois tipos de discursos, quando respondeu a respeito de suas previsões de trajetórias/colisões feitas no desenho 27.

Nos níveis 1, 2 e 5, verificamos que L13G₂ se manteve na subcategoria discurso próximo do gênero científico, ao justificar que suas previsões de trajetórias de partículas no desenho 27, níveis 1 e 5 foram mais ou menos como previu e, no nível 2 não foi, como indicam suas falas:

L14G₃: Só a primeira só, mas, a última não. A quarta também foi, foi logo aqui, foi em cima. Mas, daí a última não estava perto da quarta, daí eu tive que descer tudo. Meu, então, porque não sei! Se você está falando de colisão de moléculas aí, eu não consigo prever para onde que elas vão. Então, não tem! Eu só chutei aqui (falando das trajetórias de seu desenho). Ai, não tem como adivinhar aqui (falando do desenho) como elas vão iam fazer ali (falando do jogo). (Nível 1).

L14G₃: Não! Nada como eu imaginava! Eu não sei como as bolinhas se comportam. Eu não sei se elas têm um comportamento igual em cada nível. Então, não tem como eu saber para onde ela vai. Não sei quem que já conseguiu prever o comportamento das bolinhas é um gênio! Eu não consigo! (Nível 2).

L14G₃: Mais ou menos! Agora tem muita bolinha, eu consigo no início colidir com o máximo de bolinhas (falando das azuis), isso eu consegui. Mas, depois, por causa do movimento desordenado eu fico mais do lado esquerdo tentando desviar das laranjas. (Nível 5).

As experiências da jogadora durante o contexto proposto nos níveis do jogo lhe proporcionaram vivenciar, entender e explicar a imprevisibilidade de trajetórias das partículas,

próximo da categoria investigada. Inclusive, averiguamos, no final da resposta do nível 2, a descrença de L14G₃ a respeito de alguém conseguir prever o comportamento das bolinhas, considerando-o um gênio.

Nos níveis 3 e 4, L14G₃ apresentou discursos elucidativos ao jogo ao justificar que suas trajetórias foram mais ou menos como previu no desenho 27. Veja:

L14G₃: Hummm, mais ou menos! Mais ou menos. Mas eu ainda fiquei muito tentando correr atrás das bolinhas (falando das azuis). Daí eu acabei me perdendo um pouco e também quando você bate nelas (falando das bolinhas azuis e brancas), elas vão mais rápido, batem na laranja que também vai mais rápido. E aí você acaba se apavorando e morrendo. Mas, (pensando) como é que foi a sua pergunta, a trajetória? Foi mais ou menos, só no começo. Daí eu comecei a correr atrás das bolinhas, porque eu fico com vontade de bater em todas as azuis. (Nível 3).

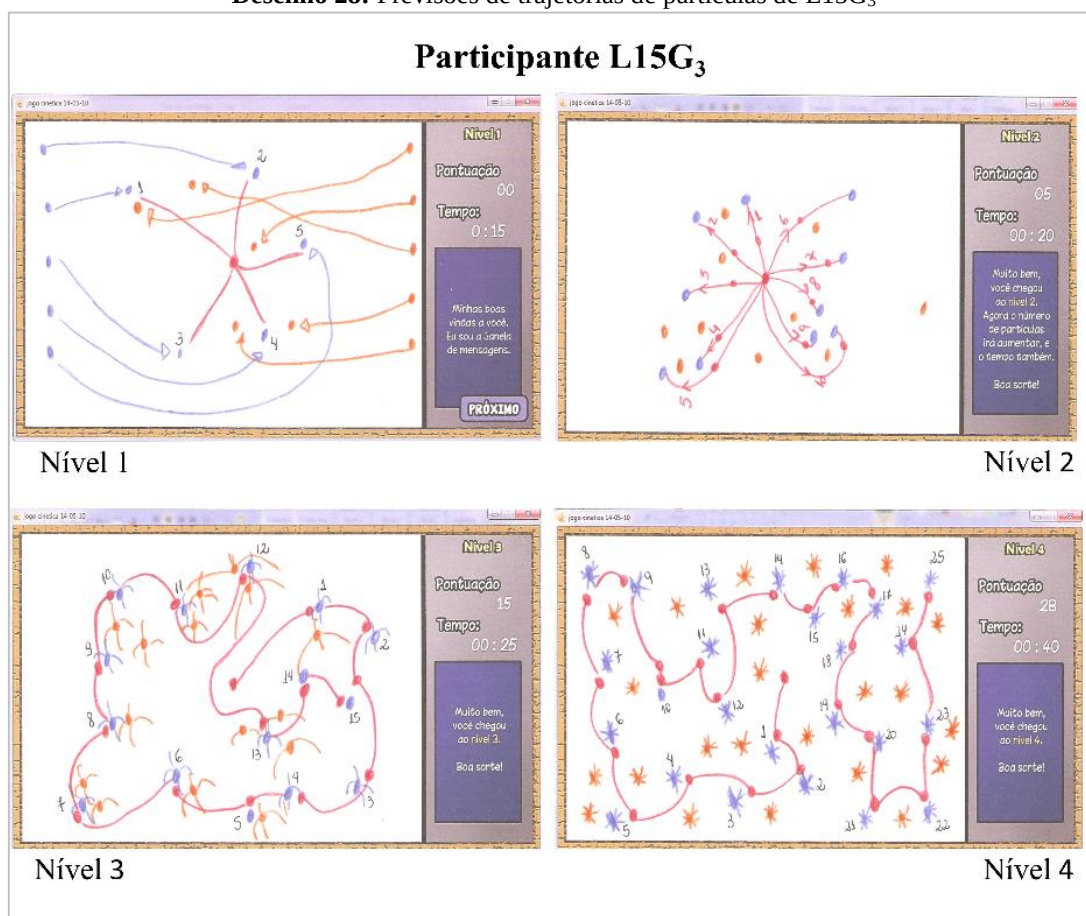
L14G₃: Mais ou menos. Eu acabei não vindo para baixo, né, como sempre eu fui para a esquerda. Então, essa parte de ir para baixo eu não fiz. Mas, (pensando) eu fiquei mais concentrada do lado esquerdo pescando as bolinhas azuis. E, no fim, é eu acabei nem indo muito para o outro lado, se eu não me engano. Eu fiquei mais para o lado esquerdo mesmo. É, eu não sei por quê! Eu sei que as bolinhas (falando das azuis) elas vão e voltam. Então, não fico muito mais correndo atrás delas, fico mais de um lado só esperando elas virem para o lado esquerdo. Aí, a partir do momento em que elas entram num raio meio próximo de onde eu (falando da vermelha) estou, daí eu vou atrás delas. (Nível 4).

Conforme o desenho 27 e quadro 65, concluímos que os contextos propostos nos níveis do jogo digital foram importantes, visto que nos proporcionou verificar um discurso próximo do científico da participante. Portanto L14G₃ necessita apenas utilizar palavras científicas, para melhor explicar a categoria investigada.

Na sequência, as análises e discussões de L15G₃.

6.5.15 Participante L15G₃

Seguem, no desenho 28, as ilustrações das previsões de trajetórias/colisões de L15G₃, para cada nível 1, 2, 3 e 4 do jogo digital.

Desenho 28: Previsões de trajetórias de partículas de L15G₃

Fonte: Dados da pesquisa

De acordo com o desenho 28, nível 1, L15G₃ não alcançou totalmente o padrão 05, porque verificamos somente a primeira colisão do lado esquerdo, a segunda e terceira mais ao meio na parte superior e inferior. Apesar de não observamos uma distribuição homogênea, a previsão do jogador é provável.

No nível 2, L15G₃ se aproximou mais do padrão 05, pois a primeira colisão está no meio e a segunda até a quinta colisão previu do lado esquerdo. Nesse desenho 28, nível 2, o jogador concentrou as partículas no meio, sendo muito pouco provável essas previsões de trajetórias.

No nível 3, apesar de o jogador já ter tido a experiência dos níveis anteriores, não foi suficiente ainda para alcançar o padrão 05, pois previu as três primeiras colisões do lado direito.

No nível 4, verificamos uma evolução do participante ao prever as primeiras colisões do lado esquerdo, portanto levou em consideração a experiência obtida no jogo para mudar suas previsões de trajetórias.

Seguem, no quadro 66, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L15G₃.

Quadro 66: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L15G₃

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO			
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
CONCEITO DE ALEATORIEDADE: imprevisibilidade de trajetórias de partículas	Discurso próximo do gênero científico	--	--	L15G ₃	--
	Discurso elucidativo ao jogo	L15G ₃	L15G ₃	--	L15G ₃

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o quadro 66, L15G₂ revelou dois tipos de discursos, quando respondeu a respeito de suas previsões de trajetórias/colisões feitas no desenho 28.

Nos níveis 1, 2 e 4, verificamos que L15G₂ se manteve na subcategoria discurso elucidativo ao jogo, quando justificou que suas previsões de trajetórias de partículas no desenho 28 não foram como previu, como revelam suas falas:

L15G₃: Não. Foi bem mais diferente. Porque no primeiro nível (falando da 1ª bolinha azul da fileira), a bolinha ainda ficou na parte de cima, então, foi mais fácil de ver ela. E a terceira tinha ficado estática, no mesmo lugar. (Nível 1).

L15G₃: Não. Elas ficaram mais unidas às azuis. Mas não formaram os grupinhos de azuis que eu queria, só no final que elas ficaram assim. (Nível 2).

L15G₃: Não (risos). Tinha mais bolinhas laranja, elas estavam mais rápidas. Acho que nem fica mais rápida, acho que é só a quantidade delas ganha velocidade. (Nível 4).

Percebemos na resposta no nível 4, que a jogadora associou a quantidade de partículas ao aumento de suas velocidades, para justificar o porquê de suas previsões de trajetórias não terem ficado como previsto no desenho 28 e no jogo.

No nível 3, L15G₃ evoluiu em seu discurso, quando justificou o porquê de suas previsões de trajetórias no desenho 28, nível 3 não terem sido como previu e porque mudou a maneira de ilustrar as trajetórias. Observe, consecutivamente, suas respostas:

L15G₃: Não, porque durante o jogo, se agruparam as azuis. E eu não imaginava que elas iam se agrupar. Isso foi uma surpresa. (Nível 3).

L15G₃: Porque a vermelha não fica estática, né, ela está em constante movimento. No desenho 118, principalmente, eu coloquei elas paradas (falando da vermelha), como se ela batesse na primeira (falando da azul) e voltasse para o meio, daí, batesse na 2ª e voltasse para o meio. E não é, está em constante movimento também (falando das partículas). (Nível 3).

Além disso, pode-se perceber uma evolução quanto ao emprego de palavras relacionadas à categoria investigada. Esse fato foi confirmado quando L15G₃ explicou quais

foram as razões que o levaram a perceber o contexto descrito no nível 3 acima. Observe sua resposta:

L15G₃: Porque, se ela ficar estática, eu não vou conseguir passar o jogo porque nenhuma das bolinhas vai vir só para o centro, nem todas colidem no centro. Porque a laranja vai estar em movimento também para os dois lados, elas podem ir para cima, para baixo, para a esquerda e para a direita. Ela não tem uma ordem específica de movimento, ela pode estar se movimentando em qualquer direção e as azuis também. Não tem como teorizar a trajetória que você vai seguir, porque você não tem como adivinhar a trajetória da partícula azul e da laranja, porque elas se movimentam em todas as direções. (Nível 3).

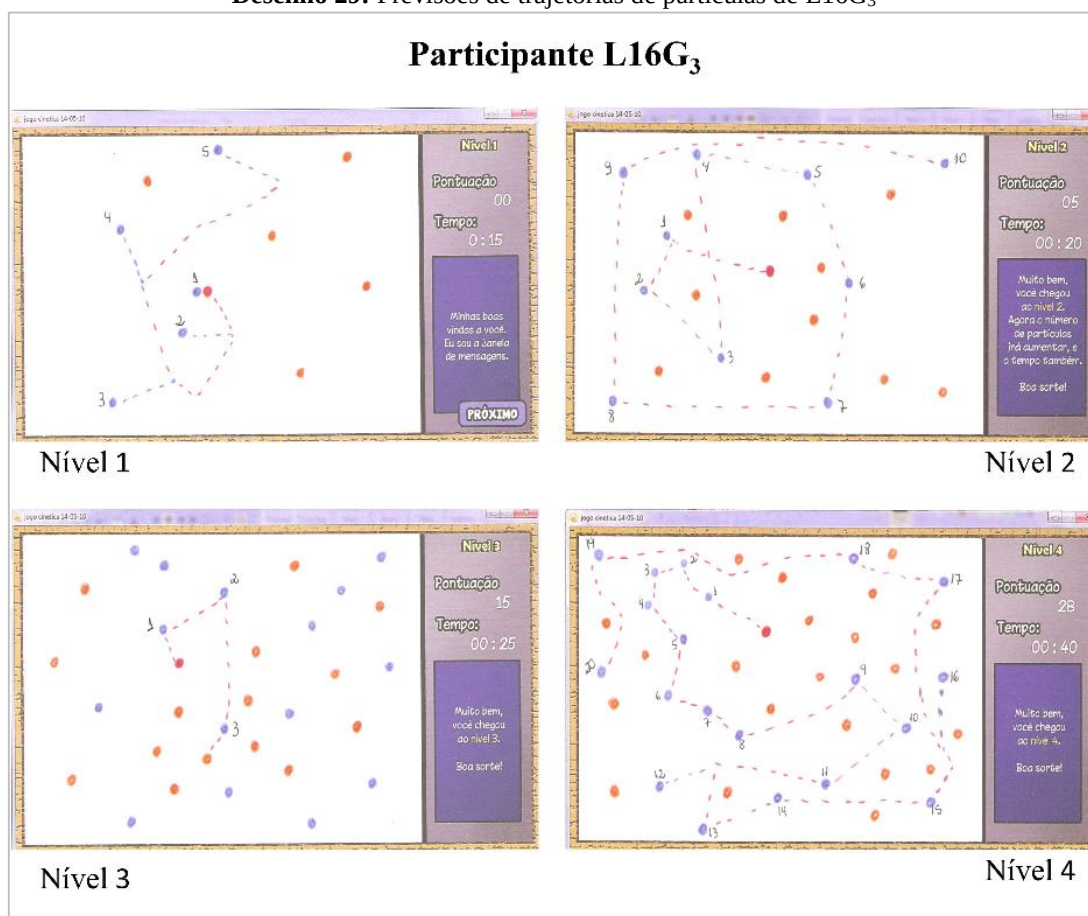
Dado o exposto, concluímos que o contexto proposto no jogo proporcionou ao participante assimilar as experiências vividas, pois foi se adaptando a cada nova situação e resgatando ou construindo esquemas e os modificando a cada objeto novo (PIAGET, 1987), como analisamos as diferenças do modo de ilustrar as trajetórias de partículas no desenho 28.

Também, conforme o quadro 66, o participante foi capaz de reelaborar seus discursos elucidativos ao jogo para um discurso próximo do gênero científico.

Na sequência, as análises e discussões de L16G₃.

6.5.16 Participante L16G₃

Seguem, no desenho 29, as ilustrações das previsões de trajetórias/colisões de L16G₃, para cada nível 1, 2, 3 e 4 do jogo digital.

Desenho 29: Previsões de trajetórias de partículas de L16G₃

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o desenho 29, L16G₃ alcançou o padrão 05, principalmente no nível 1, porque a previsão é totalmente possível. Além disso, verificamos a indicação com pequenos tracejados curvos na cor azul e vermelho das trajetórias das partículas. No nível 3, L16G₃ ilustrou todas as partículas azuis e laranjas, mas indicou apenas três colisões.

Diante dos fatos, a participante não se aproximou de uma distribuição homogênea no desenho 29, por exemplo, no nível 4, concentrou as partículas azuis próximas à parede do sistema, deixando o canto esquerdo inferior sem ilustrações. No entanto é oportuno esclarecer que as previsões no jogo são prováveis.

Seguem, no quadro 67, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L16G₃.

Quadro 67: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L16G₃

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO			
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
CONCEITO DE ALEATORIEDADE: imprevisibilidade de trajetórias de partículas	Discurso de gênero científico	L16G ₃	L16G ₃	--	--
	Discurso elucidativo ao jogo	--	--	L16G ₃	L16G ₃

Fonte: Dados da pesquisa

De acordo com o quadro 67, L16G₂ revelou dois tipos de discursos, quando respondeu a respeito de suas previsões de trajetórias/colisões feitas no desenho 29.

Nos níveis 1 e 2, L16G₃ se manteve na subcategoria discurso de gênero científico, visto que apresentou palavras que elucidam a categoria investigada.

No nível 1, num primeiro momento, L16G₃ não elucidou a categoria investigada, quando respondeu se suas previsões de trajetórias de partículas (desenho 29), foram como previu. Confira:

L16G₃: Não. Eu tentei fazer do jeito que eu tinha planejado ir primeiro na do meio (falando da 1ª colisão), depois vir pra baixo e depois ir para cima. Mas, daí, não deu muito certo, porque ela (falando da azul) não foi lá para cima, ela deu a volta todinha e eu tive que ficar atrás. (Nível 1).

Em seguida, revelou ideias corretas de imprevisibilidade de trajetórias de partículas, quando retomamos e questionamos se suas previsões foram como previstas no desenho 29, nível 1 e, também porque a última colisão, não foi. Confira suas falas:

L16G₃: Ah, porque é imprevisível, né para onde que vão às bolinhas! Eu só supus as trajetórias, aí. Mas não dá para saber! (Nível 1).

Do mesmo modo, no nível 2, L16G₃ revelou ideias corretas de imprevisibilidade de trajetórias de partículas, quando a questionamos se suas previsões foram como previstas no desenho 29, nível 2, como revelam suas falas:

L16G₃: Não. Não foi. É porque aquilo que eu tinha pensado como ele (falando das partículas do jogo) está sempre em movimento, quem determina é aleatório, então, não tem muito como muito prever. Eu pensei, assim, que elas iam de repente estar mais devagar, ia dar para eu seguir meio que a direção quando elas saíssem daqui (falando das azuis no início do jogo). Mas não porque as laranjas me atrapalharam muito, elas juntam todas num canto só, em volta da bolinha que eu quero, não dá para chegar perto da bolinha, fica bem complicado. (Nível 2).

Nos níveis 3 e 4, L16G₃ se manteve na subcategoria discurso elucidativo ao jogo, porque suas respostas se reportam ao seu contexto:

L16G₃: Não. Na minha imaginação, eu ia pegar a terceira e morrer. Eu peguei a segunda e já morri, foi pior (risos). (Nível 3).

L16G₃: Não! Eu não estou nem indo atrás das azuis! Eu estou mesmo é me defendendo das azuis (risos). (Nível 4).

Em vista disso, concluímos que as experiências de L16G₃, durante o contexto do jogo, lhe proporcionaram pensar, refletir, comparar e perceber que suas previsões não foram como previstas no desenho 29, em nenhum nível.

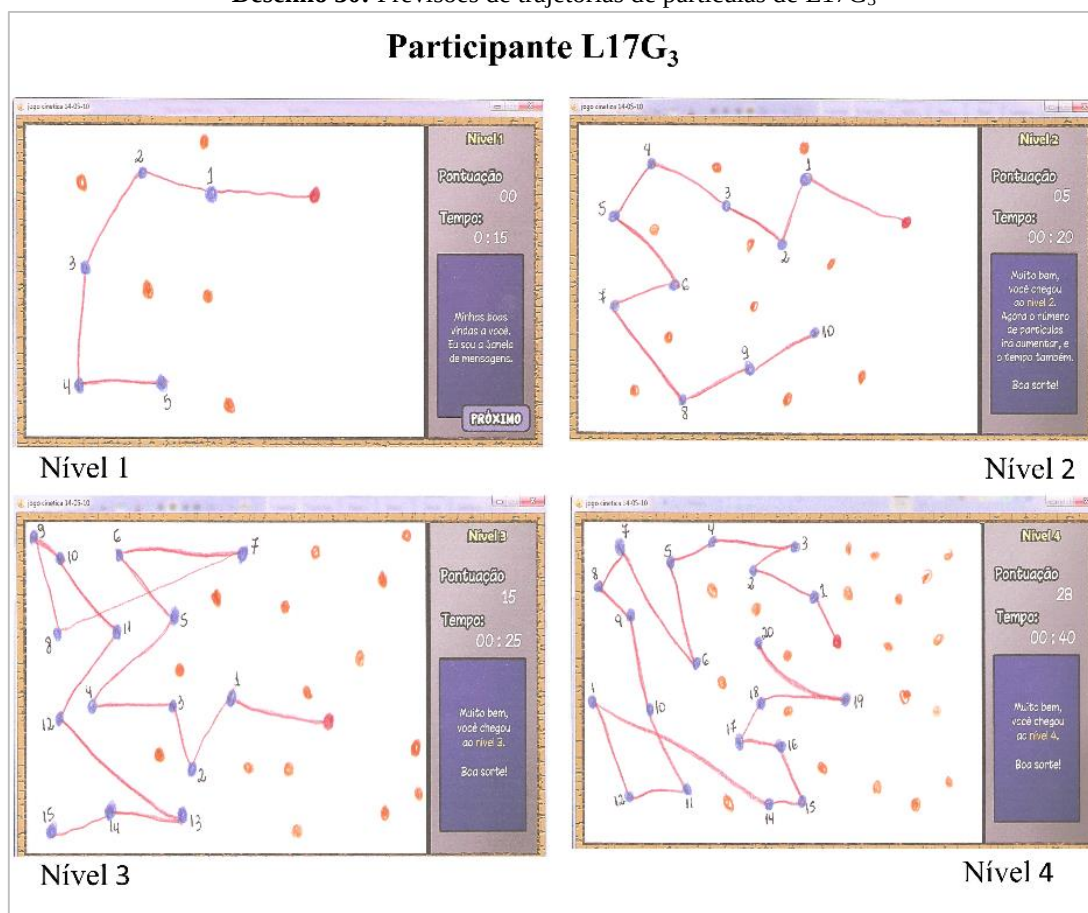
Conforme o desenho 29 e o quadro 67, concluímos que os contextos propostos no jogo foram importantes, para verificarmos uma concepção correta de L16G₃, a respeito da imprevisibilidade de trajetórias de partículas.

Na sequência, as análises e discussões de L17G₃.

6.5.17 Participante L17G₃

Seguem, no desenho 30, as ilustrações das previsões de trajetórias/colisões de L17G₃, para cada nível 1, 2, 3 e 4 do jogo digital.

Desenho 30: Previsões de trajetórias de partículas de L17G₃



Fonte: Dados da pesquisa

De acordo com o desenho 30, L17G₃ alcançou o padrão 05 no nível 1, pois verificamos todas as colisões do lado esquerdo. No nível 2, se aproximou do padrão 05, porque a primeira colisão está perto do meio na parte superior. Contudo, nesses dois níveis, apesar de não termos um sistema homogêneo de distribuição das partículas, as previsões são prováveis.

Nos níveis 3 e 4, o participante se aproximou do padrão 05, pois, no nível 3, ilustrou as três primeiras trajetórias de partículas na parte inferior mais ao meio, no sentido esquerdo e, no nível 4, do mesmo modo, só que na parte superior.

Também verificamos, na análise do desenho 30, a presença de linhas curvas e retas com a cor vermelha para indicar as trajetórias das partículas vermelhas, uma divisão na ilustração das partículas, concentrando azuis no lado esquerdo e laranjas no lado direito.

Em vista disso, L16G₃ não apresentou uma distribuição homogênea das partículas, principalmente nos níveis 3 e 4, sendo, portanto, muito pouco provável de ocorrerem essas previsões de trajetórias de colisões no jogo.

Seguem, no quadro 68, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L17G₃.

Quadro 68: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L17G₃

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO			
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
CONCEITO DE ALEATORIEDADE: imprevisibilidade de trajetórias de partículas	Discurso de senso comum	--	L17G ₃	L17G ₃	--
	Discurso elucidativo ao jogo	L17G ₃	--	--	L17G ₃

Fonte: Dados da pesquisa

De acordo com o quadro 68, L17G₂ revelou dois tipos de discursos, quando respondeu a respeito de suas previsões de trajetórias/colisões feitas no desenho 30.

Nos níveis 1 e 2, L17G₂ apresentou discursos elucidativos ao jogo, ao responder que suas previsões de trajetórias de partículas não foram como havia imaginado no desenho 30. Observe em suas respostas:

L17G₃: Não. Teve uma hora em que as bolinhas (risos) eu tive que desviar para não bater. Para mim, o que eu queria fazer é pegar a mais próxima. Por exemplo, quando eu fui pegar essa aqui (falando da azul), eu tive que desviar da laranja e acabei pegando outra (falando da azul). (Nível 1).

L17G₃: Não. Agora elas (falando das partículas do jogo) estão muito rápidas! Elas (falando das laranjas) batem na parede e voltam e vem tudo assim em cima de mim (risos), dá um desespero. Não dá! Esse nível quatro está muito difícil. Não sei por que eu estou preocupado com o tempo. (Nível 4).

De modo contrário, o jogador se manteve com discursos de senso comum nos níveis 2 e 3, pois, além de revelar que suas previsões de trajetórias não foram como havia imaginado, empregou palavras, como “misturar, misturam, misturadas”, em suas respostas:

L17G₃: Ah, porque, as bolinhas não saem do jeito que eu penso!?! (Risos). Porque tem as cinco aqui (falando das azuis), né, na hora em que elas vão sair assim, as daqui (falando das azuis) também colidem com essas aqui (falando das laranjas), daí elas voltam e misturam tudo. Não é do jeito que eu pensava que sai tudo de um lado assim, porque no primeiro nível sai tudo de um lado, porque só tem uma fileira, então, ela não tem como colidir. Agora, como tem dez, vai bater e virar uma mistura só. (Nível 2).

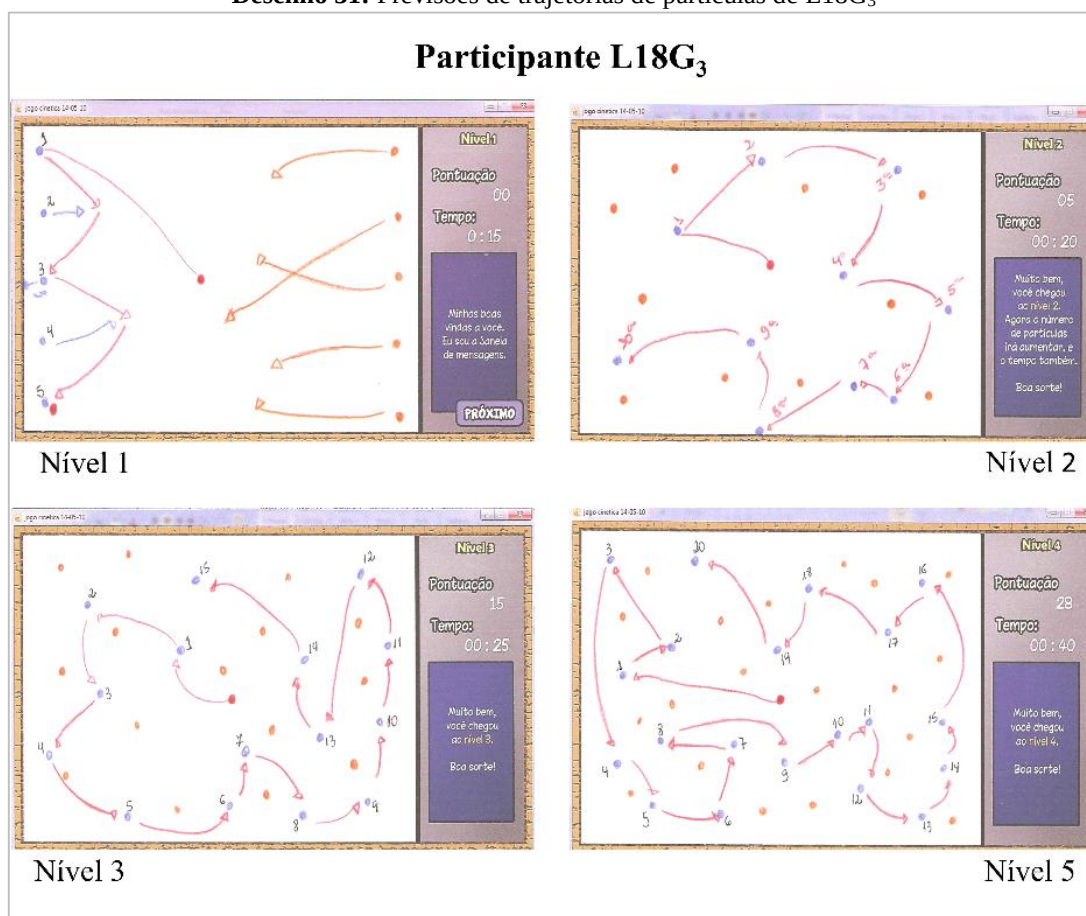
L17G₃: Não. Conforme eu desenhei, desse jeitinho, não! Porque até eu chegar para pegar as últimas bolinhas azuis aqui (falando do lado esquerdo do desenho), as laranjas já vão estar misturadas. Daí, eu vou ter que dar uma desviada bem boa. E essas azuis vão misturar mais ainda no meio e eu vou ter que ficar procurando elas. (Nível 3).

Tendo em vista os dados apresentados, podemos concluir perante o desenho 34 (principalmente nível 3 e 4) e o quadro 68 que os contextos do jogo foram importantes para verificarmos que L17G₃ não levou em consideração as experiências tidas no jogo. Pois, mesmo tendo explicado que suas trajetórias não foram como previu, manteve seu modo de prever as trajetórias de partículas e não conseguiu elucidar a categoria investigada. Portanto o participante carece de apreender a respeito do assunto.

Na sequência, as análises e discussões de L18G₃.

6.5.18 Participante L18G₃

Seguem, no desenho 31, as ilustrações das previsões de trajetórias/colisões de L18G₃, para cada nível 1, 2, 3 e 4 do jogo digital.

Desenho 31: Previsões de trajetórias de partículas de L18G₃

Fonte: Dados da pesquisa

De acordo com o desenho 31, L18G₃ alcançou o padrão 05 nos níveis 1, 3 e 4, porque ilustrou as três primeiras colisões do lado esquerdo. No nível 2, se aproximou do padrão 05, pois a terceira colisão está do lado direito.

Nos níveis 1 e 2, apesar de não termos um sistema homogêneo de distribuição das partículas, as previsões, no nível 1, são pouco prováveis de se colidir na vertical com as cinco azuis e, no nível 2, mais prováveis, por não terem essa verticalidade.

Nos níveis 3 e 4, o participante se aproximou do padrão 05, pois, no nível 3, ilustrou as três primeiras trajetórias de partículas na parte inferior mais ao meio no sentido esquerdo e, no nível 4, do mesmo modo, só que na parte superior. Ele não apresentou um sistema homogêneo, pois suas partículas azuis estão mais próximas da parede; contudo as previsões de trajetórias de partículas no jogo são possíveis.

Também verificamos, na análise do desenho 31, a presença de linhas curvas e retas com a cor vermelha para indicar as trajetórias das partículas vermelhas, uma divisão na ilustração das partículas, concentrando azuis no lado esquerdo e laranjas no lado direito.

Seguem, no quadro 69, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L18G₃.

Quadro 69: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L18G₃

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO			
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
CONCEITO DE ALEATORIEDADE: imprevisibilidade de trajetórias de partículas	Discurso próximo do gênero científico	L18G ₃	L18G ₃	L18G ₃	--
	Discurso elucidativo ao jogo	--	--	--	L18G ₃

Fonte: Dados da pesquisa

Segundo o quadro 69, L18G₃ apresentou dois tipos de discursos, quando respondeu a respeito de suas previsões de trajetórias/colisões feitas no desenho 31.

No nível 1, ao questionarmos L18G₃ a respeito dos motivos de suas trajetórias de partículas não terem ficado como previu no desenho 31, nos revelou um pensar próximo do gênero científico, como indicam suas respostas:

L18G₃: Não (risos). É muito relativo falar aonde você vai acertar ou não! Aqui (falando do desenho) eu achei meio mecânico. Aí (falando das colisões no desenho), eu vou à primeira, depois eu vou à segunda, depois na terceira. Aí (falando do jogo), quando eu as vejo em movimento, eu vejo que não é como eu pensei. (Nível 1).

L18G₃: Pelo fato delas (falando das azuis), tipo assim, elas (falando das azuis), podem ir para todos os lugares. Então, é muito difícil adivinhar o momento em que ela vai estar e onde eu vou bater nela. Entendeu? (Nível 1).

Além disso, o jogador também proferiu, nos níveis 2 e 3, conhecimentos que aludem a imprevisibilidade de trajetórias das partículas segundo a teoria cinética dos gases. Observe:

L18G₃: Não. É como eu disse o movimento que elas vão tomar vai ser relativo. Então, não vai ter como eu saber exatamente aonde ela vai estar. Pelo fato que uma está batendo na outra, vai tomar um caminho diferente, vai bater na parede e vai voltar. (Nível 2).

L18G₃: Não. Porque como eu falei, as laranjas sempre vão me atrapalhar nas minhas trajetórias. E, dessa vez, elas me encurralaram, teve algumas azuis que ficaram muito próximas uma da outra e distante da vermelha. Daí eu fiquei meio encurralado, eu demorei para chegar à azul. É difícil (risos) saber aonde elas vão se colidir e não tem como saber o movimento, não tem como prever. (Nível 3).

Diante do exposto, verificamos que L28G₃ precisa apenas reordenar melhor suas ideias para um saber científico, uma vez que “[...] a direção em que uma molécula se move é aleatória, ou seja, não há direção privilegiada para seus deslocamentos [...]” (CARUSO, OGURI, 2006, p. 67). Conclui-se que as trajetórias de partículas são imprevisíveis.

No nível 4, L28G₃ atentou às regras do jogo para, justificar porque suas previsões não foram como imaginou no desenho 31. Assim, indica sua resposta:

L18G₃: Não. Igual eu falei, agora é muita laranja (risos)! Elas me encurralaram muito, elas batem mais umas nas outras, não dá para bater na azul, eu fico tentando desviar das laranjas. (Nível 4).

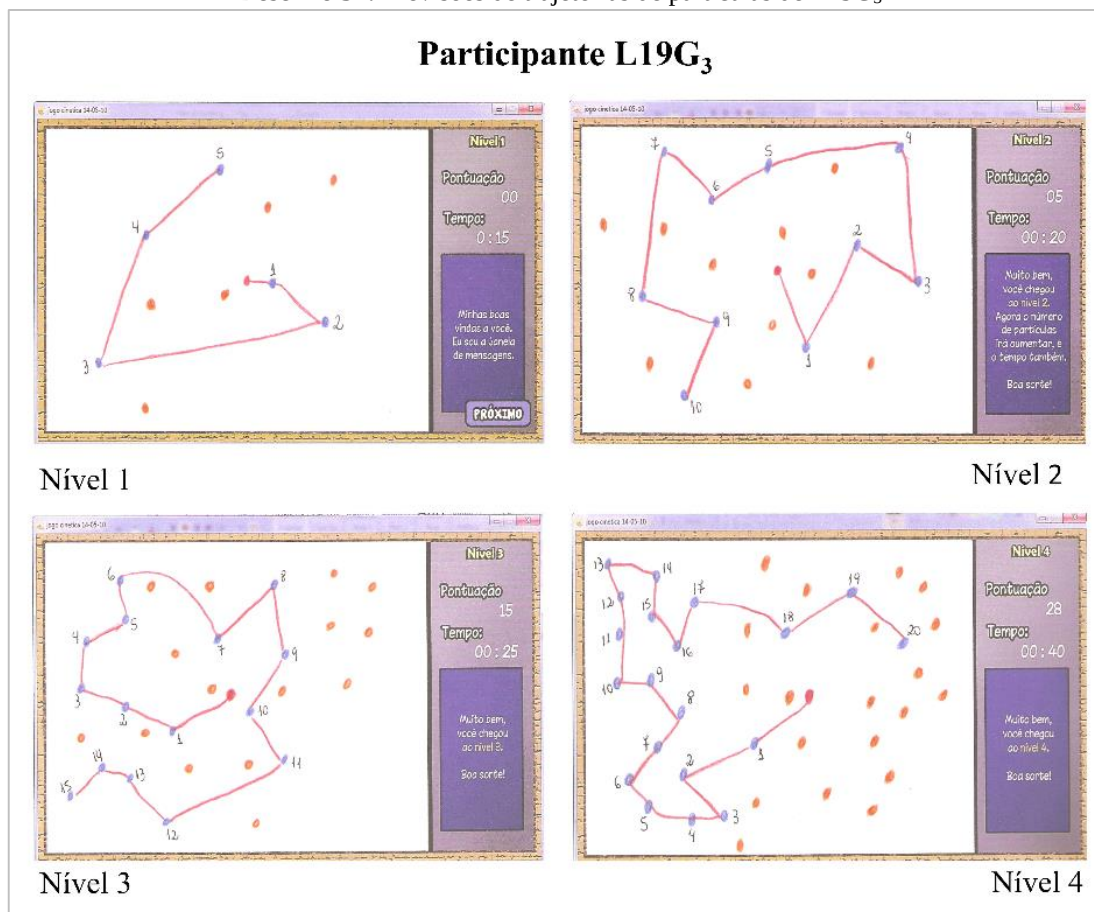
Podemos concluir que os contextos propostos nos níveis do jogo foram importantes para verificarmos uma compreensão próxima da científica de L19G₃ a respeito da imprevisibilidade de trajetórias de partículas.

Na sequência, as análises e discussões de L19G₃.

6.5.19 Participante L19G₃

Seguem, no desenho 32, as ilustrações das previsões de trajetórias/colisões de L19G₃, para cada nível 1, 2, 3 e 4 do jogo digital.

Desenho 32: Previsões de trajetórias de partículas de L19G₃



Fonte: Dados da pesquisa

Segundo o desenho 32, L19G₃ se distanciou do padrão 05 nos níveis 1 e 2, uma vez que a primeira e segunda colisão estão do lado direito. Apesar de não ter uma homogeneidade nas trajetórias de partículas, as previsões no jogo são prováveis de ocorrer.

Nos níveis 3 e 4, L19G₃ alcançou o padrão 05, pois desenhou as três primeiras colisões do lado esquerdo. Contudo a jogadora não distribuiu as partículas de maneira homogênea,

porque verificamos partículas azuis do lado esquerdo e laranja do lado direito. Sendo assim, essas previsões de trajetórias de partículas são muito pouco prováveis de ocorrer no jogo.

Também verificamos, na análise do desenho 32, a presença de linhas curvas e retas com a cor vermelha, para indicar as trajetórias das partículas vermelhas.

Seguem, no quadro 70, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L19G₃.

Quadro 70: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L19G₃

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO			
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
CONCEITO DE ALEATORIEDADE: imprevisibilidade de trajetórias de partículas	Discurso de senso comum	--	--	L19G ₃	--
	Discurso elucidativo ao jogo	L19G ₃	L19G ₃	--	L19G ₃

Fonte: Dados da pesquisa

Segundo o quadro 70, L19G₂ revelou dois tipos de discursos, quando respondeu a respeito de suas previsões de trajetórias/colisões feitas no desenho 32.

Nos níveis 1, 2 e 4, L19G₃ se manteve na subcategoria discurso elucidativo ao jogo ao responder, porque suas previsões de trajetórias de partículas não foram como previu. Veja:

L19G₃: Não (risos). É porque na hora não dá para você (pensando, risos). Acho que na hora (falando do jogo) você vai só pelo que você visualiza, não fica pensando nos seus movimentos. (Nível 1).

L19G₃: Não! De jeito nenhum (risos). Nossa! Não faço ideia. Parece que quanto mais brancas as azuis, vão ficando mais rápidas, elas vão girando (risos). Então (pensando), não sei quais foram as razões (risos). (Nível 2).

L19G₃: Hunnn (pensando!). Mais ou menos (risos)! Foi, assim, a previsão das bolinhas ficarem do lado (falando do esquerdo), assim que eu previ. (Nível 4).

Perante os aspectos analisados, observamos nas respostas acima que a participante atentou às regras e ao contexto do jogo, por isso, a subcategoria discurso elucidativo ao jogo.

De modo contrário, verificamos uma evolução no discurso da jogadora do nível 3, uma vez que apresentou termos de senso comum, como “dispersam”, para explicar que suas trajetórias não foram como previstas no desenho 32. Note em sua fala:

L19G₃: Ah, foi um pouco mais parecida (pensando), só que (pensando). Não! Porque as minhas trajetórias ficaram um monte aqui (mostrando as regiões das primeiras colisões) e para cá (mostrando no desenho o vazio perto das colisões 12, 13, 14 e 15) não teve quase nenhuma que eu peguei. Porque elas (falando das azuis) se agrupam muito no começo do jogo, elas ficam bem desse lado (falando do lado esquerdo). Daí você faz tudo aqui (falando das colisões no início do jogo no lado esquerdo), aí, de repente elas batem nas paredes e se dispersam, vão para tudo quanto é lado. Não dá para ter uma trajetória mais certinha assim. (Nível 3).

Conforme o desenho 32, nível e fala do nível 3, podemos concluir que a experiência obtida pela jogadora foi importante, porque lhe proporcionou pensar, refletir e falar sobre suas previsões no desenho e as realizadas no jogo.

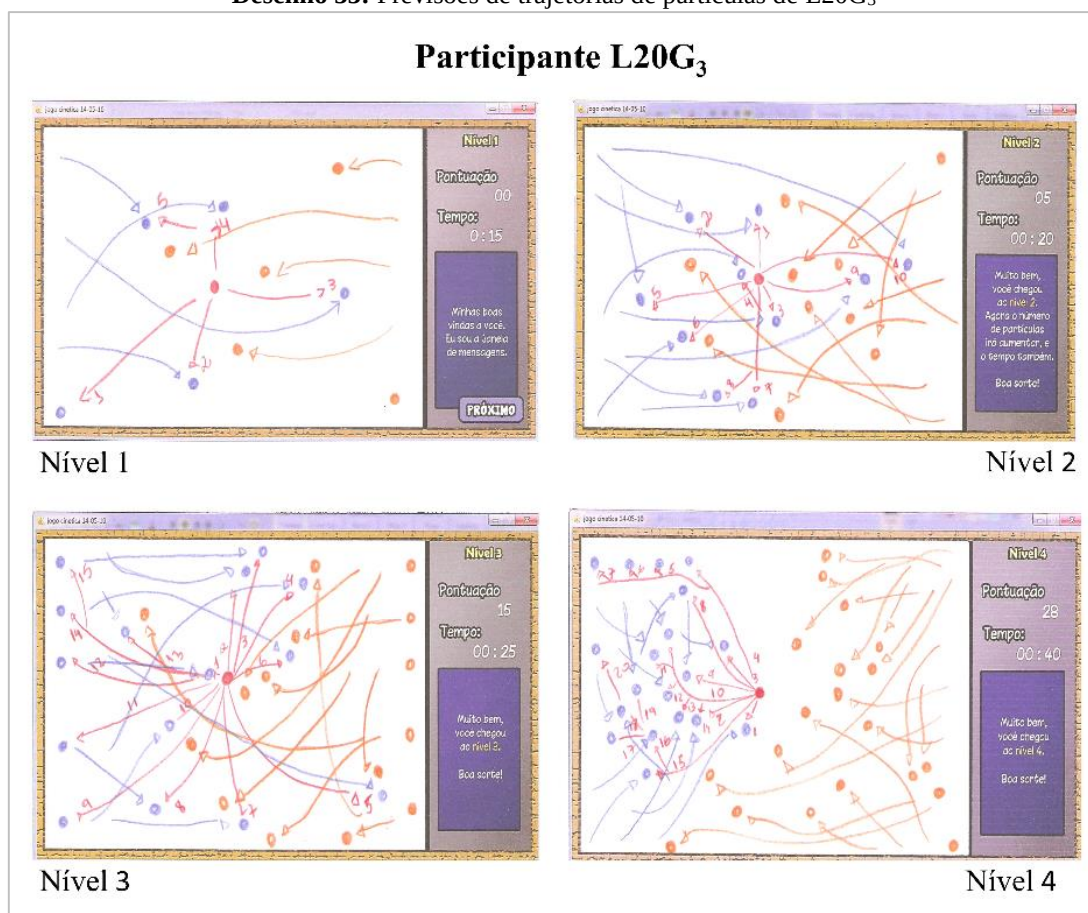
Contudo, ao analisar o desenho 32, nível 4, constatamos que L19G₃ não levou em consideração o contexto presenciado e discutido no nível 3, pois manteve o modo de representar suas previsões de trajetórias de partículas. Portanto, conforme o quadro 70, a participante carece apreender a respeito do assunto investigado.

Na sequência, as análises e discussões de L20G₃.

6.5.20 Participante L20G₃

Seguem, no desenho 33, as ilustrações das previsões de trajetórias/colisões de L20G₃, para cada nível 1, 2, 3 e 4 do jogo digital.

Desenho 33: Previsões de trajetórias de partículas de L20G₃



Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o desenho 33, L20G₃ se distanciou do padrão 05 em todos os níveis, pois, no nível 1, dentre as três primeiras trajetórias, ilustrou somente a primeira do lado esquerdo; do mesmo modo, no nível 2, a segunda colisão; nível 3 e 4, as três primeiras colisões estão ao meio, próximas à partícula vermelha.

Na análise do desenho 33, também verificamos que as previsões nos níveis 1 e 2 são prováveis de ocorrer no jogo. No nível 1, as trajetórias de partículas se aproximam de um modelo homogêneo e, no nível 2, não muito, porque verificamos espaços vazios e uma linha com quatro azuis em sequência do lado esquerdo.

Nos níveis 3 e 4, L20G₃ não distribuiu as partículas de maneira homogênea, principalmente no nível 4, pois verificamos um aglomerado de partículas azuis do lado esquerdo e laranjas do lado direito. Sendo assim, essas previsões de trajetórias de partículas são muito pouco prováveis de ocorrer no jogo.

Também verificamos, na análise do desenho 33, a presença de linhas mais curvas do que retas com a cor vermelha e azul, para indicar as trajetórias das partículas vermelhas.

Seguem, no quadro 71, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L20G₃.

Quadro 71: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L20G₃

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO			
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
CONCEITO DE ALEATORIEDADE: imprevisibilidade de trajetórias de partículas	Discurso de senso comum	--	--	L20G ₃	--
	Discurso elucidativo ao jogo	L20G ₃	L20G ₃	--	L20G ₃

Fonte: Dados da pesquisa

Segundo o quadro 71, L20G₃ revelou dois tipos de discursos, quando respondeu a respeito de suas previsões de trajetórias/colisões feitas no desenho 33.

Nos níveis 1, 2 e 4, L20G₃ se manteve na subcategoria discurso elucidativo ao jogo. Ao responder por que suas previsões de trajetórias de partículas, ora foram como previu, ora mais ou mesmo e outra, em parte sim. Verifique em suas respostas:

L20G₃: Mais ou menos. Foi só quando eu vim para cá, oh! (Falando da 1ª colisão). (Nível 1).

L20G₃: Só a parte de cima, no início. Ah, não sei, porque esse jogo, eu sei lá (risos). (Nível 2).

L20G₃: Aiii, é muito difícil. Não deu certo. Não sei. São as bolinhas, as bolinhas laranja são chatinhas, é muito rápido! (Nível 4).

De modo contrário, verificamos uma evolução no discurso da jogadora no nível 3, pois utilizou termos de senso comum, como “espalham”, para justificar as razões de suas trajetórias não terem sido como previu no desenho 33. Note em sua fala:

L20G₃: Não. Eu percebi que quando você bate nelas, nas bolinhas azuis, elas andam um pouquinho mais rápido, tipo, elas dão um impulso mais rápido. Daí, se você não bater nelas, elas ficam devagarzinho, daí é tranquilo. Mas, se você der impulso nelas, elas colidem com as outras e vão mais rápido. Daí, o desespero (risos). É que assim, (pensando), aqui eu pensei que quando você começasse a jogar, elas já iam até você. Só que eu percebi que elas não vão até você, elas ficam em um cantinho, daí você tem que ir lá. Daí, você bate nelas e elas espalham como se fosse um jogo de sinuca. (Nível 3).

Conforme o desenho 33, nível e fala do nível 3, podemos concluir que a experiência vivenciada por L20G₃ foi importante, porque lhe proporcionou pensar, refletir e falar sobre suas previsões no desenho e as realizadas no jogo.

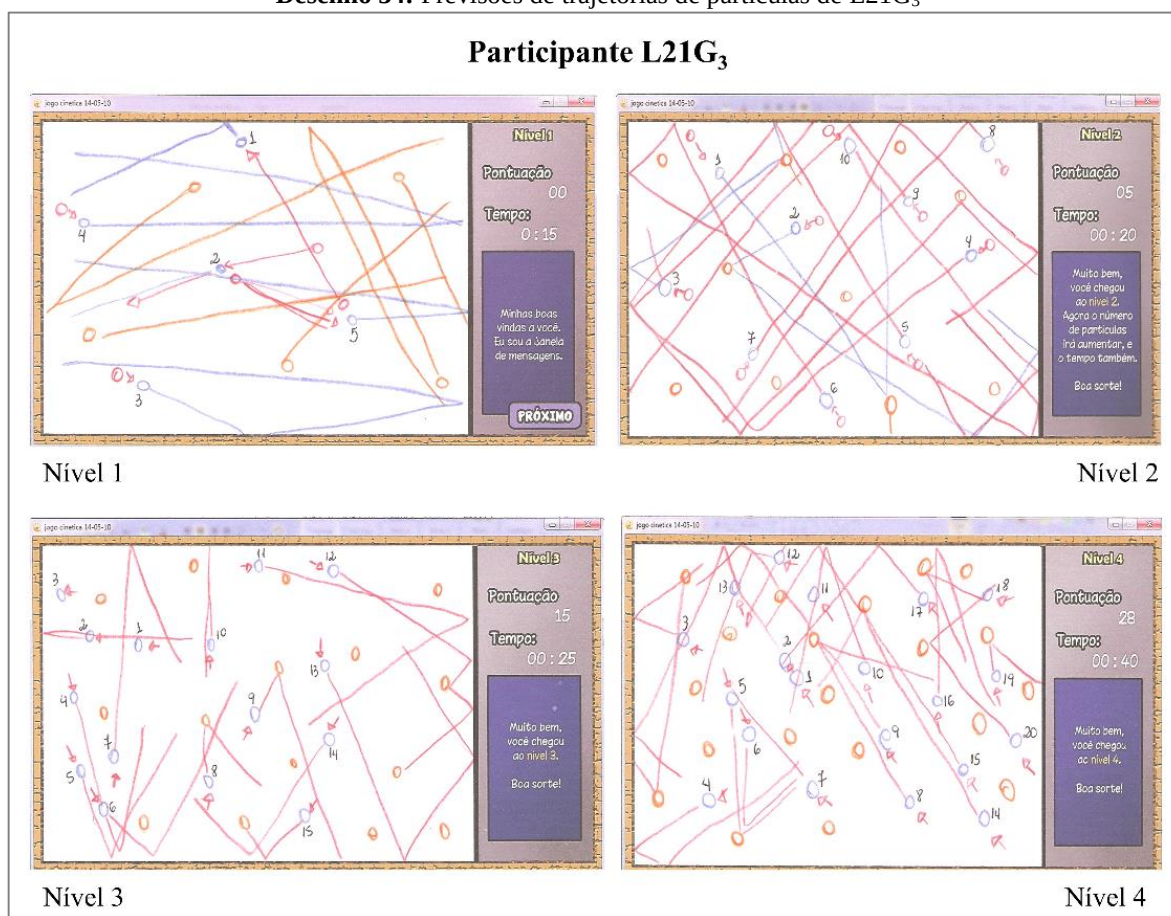
Contudo, ao analisar o desenho 33, nível 4, constatamos que L20G₃ não levou em consideração o contexto presenciado e discutido no nível 3, pois mudou suas previsões de trajetórias. Portanto, conforme o quadro 71, a participante carece apreender a respeito do assunto investigado.

Tendo em vista os últimos dados analisados, constatamos que tanto L19G₃ como L20G₃ apresentaram os mesmos resultados, ao compararmos os quadros 70 e 71, e também se aproximaram em seus discursos quanto ao nível 3 e 4.

Na sequência, as análises e discussões de L21G₃.

6.5.21 Participante L21G₃

Seguem, no desenho 34, as ilustrações das previsões de trajetórias/colisões de L21G₃, para cada nível 1, 2, 3 e 4 do jogo digital.

Desenho 34: Previsões de trajetórias de partículas de L21G₃

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o desenho 34, L20G₃ alcançou o padrão 05 em todos os níveis, pois ilustrou as três primeiras trajetórias nos quatro níveis.

No nível 1, as trajetórias de partículas se aproximam de um modelo homogêneo, mas, no nível 2, se distanciam, porque verificamos na parte superior uma linearidade de partículas azuis. Do mesmo modo, constatamos esse fato nos níveis 3 e 4, sendo que no nível 3, há poucas colisões de azuis do lado direito e, no nível 4, na parte inferior.

Também verificamos na análise do desenho 34, a presença de linhas retas e setas com a cor vermelha para indicar as trajetórias das partículas vermelhas. No nível 1, ilustrou com linhas de cor laranja as trajetórias das partículas laranjas.

Tendo em vista a análise do desenho 34, conferimos uma observação que foi feita somente na análise do desenho 27 de L14G₃, ou seja, a presença de ilustrações das colisões das partículas com a parede do sistema. Além disso, também constatamos uma diferença entre no modo de indicar as trajetórias, pois, no desenho 27 de L14G₃, há linhas circulares e no desenho 34 de L21G₃ não presenciamos esse fato.

Segue no quadro 72, a categoria, as subcategorias e as unidades de registro de L21G₃.

Quadro 72: Categoria, subcategorias e unidades de registro de L21G₃

CATEGORIA	SUBCATEGORIAS	UNIDADES DE REGISTRO			
		Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
CONCEITO DE ALEATORIEDADE: imprevisibilidade de trajetórias de partículas	Discurso próximo do gênero científico	--	L21G ₃	L21G ₃	--
	Discurso elucidativo ao jogo	L21G ₃	--	--	L21G ₃

Fonte: Dados da pesquisa

De acordo com o quadro 72, L21G₃ revelou dois tipos de discursos, quando respondeu a respeito de suas previsões de trajetórias/colisões feitas no desenho 34.

Nos níveis 1 e 4, L21G₃ se manteve na subcategoria discurso elucidativo ao jogo, porque atentou às suas regras, para justificar que suas previsões no nível 1 não foram como previu e, no nível 2, até que foi. Observe suas respostas:

L21G₃: Não. Ah, eu acho que não vai ficar igual, porque vai depender de como eu bato com a bolinha vermelha para o lado que ela vai. (Nível 1).

L21G₃: Ah, até que foi porque elas saem daqui (falando das azuis do lado esquerdo), batem na parede, depois vão para cá (falando do lado direito), batem umas nas outras e ficam indo e vindo. (Nível 4).

De modo contrário, nos níveis 2 e 3, L21G₃ se manteve na subcategoria discurso próximo do gênero científico, porque apresentou palavras que elucidam a categoria investigada. Note em suas falas:

L21G₃: Não. (Pensando), (risos), eu não sei! Eu acho que porque na hora em que as bolinhas soltam (falando do início do jogo), elas saem do cantinho ali (falando do lado esquerdo e direito do jogo), elas saem todas sem ordem assim, daí elas se batem tudo sem ordem, não tem assim (pensando), (risos). (Nível 2).

L21G₃: Ah, não tem uma ordem assim (risos), quando elas saem, elas batem na parede, batem umas nas outras, vai, volta. Não tem (pensando), sei lá, uma ordem (risos). (Nível 3).

Tendo em vista os dados analisados, concluímos perante o desenho 34 e o quadro 72, a importância dos contextos propostos nos níveis do jogo digital, pois nos proporcionaram verificar uma compreensão de imprevisibilidade de trajetórias de partículas de L21G₃ próxima do científico, precisando somente reordenar melhor suas ideias de acordo com a teoria cinética dos gases.

A partir da análise feita, observamos um fato importante quanto às previsões de colisões feitas pelos participantes antes de jogarem cada nível, pois a maioria previu todas as colisões com as azuis antes do jogo. Apenas os licenciandos L16G₃, L14G₃, L12G₂, L8G₂ e L10G₂, após jogarem os primeiros níveis do jogo, não previram algumas colisões em seus desenhos.

Constatamos também que, mesmo a maioria dos participantes terem tido a oportunidade de vivenciar a imprevisibilidade de trajetórias das partículas durante os níveis, porque não conseguiram colidir com todas como previsto, mesmo assim, mantiveram em seus desenhos todas as colisões da partícula vermelha com as azuis. Esse fato pode ter ocorrido devido a alguns fatores, tais como: necessidade de habilidades motoras, concentração, dificuldade a cada nível do jogo porque as dificuldades vão aumentando, as regras impostas em cada nível do jogo digital, ou seja, colidir com todas as partículas azuis, não ter percebido que as trajetórias das partículas são imprevisíveis.

Conforme o quadro 04, podemos intuir que o jogo digital Cinética Química envolveu os jogadores dessa pesquisa, pois a maioria permaneceu nas entrevistas por mais de uma hora, a fim de concluírem ou chegarem ao nível 5 do jogo.

Desse modo, o jogo envolveu os participantes sem mesmo eles perceberem, alcançando, assim, alguns dos fatores elencados por Prensky (2012) como, por exemplo: a diversão e a brincadeira, regras, metas ou objetivos, resultados e “feedback”, conflito, principalmente a competição gerada entre os grupos, desafio e interação.

7 CONCLUSÃO

Na análise dos desenhos das etapas construídas para o jogo digital, verificamos que, a cada nova experiência, alguns participantes ora buscaram em seus esquemas prévios, assimilar os fatos observados no contexto aplicado nas etapas, e ora construíram novos esquemas, modificando a maneira de ilustrar as partículas nos desenhos.

Em suma, seis participantes (L5G₁, L7G₁, L8G₂, L10G₂, L11G₂ e L12G₂) elaboraram esquemas a partir do contexto aplicado nas etapas, para ilustrar as partículas nos desenhos, portanto levaram em consideração o que vivenciaram.

Para outros participantes, (L1G₁, L2G₁, L3G₁, L10G₂, L13G₂), o contexto de aplicação das etapas favoreceu um desequilíbrio em suas estruturas cognitivas, principalmente na aplicação da etapa 1C, fato que os levou a buscar o equilíbrio. Nos desenhos da etapa 1C, ilustraram pares de partículas, revelando em suas falas serem a formação de produtos, mas, nos desenhos da etapa 1D, romperam com essa percepção, tanto nos desenhos como nas falas. Portanto, eles (as) levaram em consideração a experiência das etapas anteriores, buscando usar seus esquemas, para assimilar (da experiência a mente), modificar e reelaborar seus desenhos e discursos (acomodação).

Com relação ao conceito de aleatoriedade, verificamos que somente três participantes (L4G₁, L6G₁ e L13G₂) utilizaram palavras mais próximas da científica durante a aplicação das etapas, ao explicar a construção dos desenhos.

O primeiro momento de aplicação das etapas, momento em que os participantes construíram os desenhos, não favoreceu a maioria dos participantes utilizarem palavras de cunho científico para explicar o conceito de aleatoriedade, pois observamos somente nos discursos de três participantes (L4G₁, L6G₁ e L13G₂) uma proximidade científica do assunto.

Com relação ao conceito de irreversibilidade, concluímos que os contextos de aplicação das etapas construídas para o jogo digital foram importantes, porque possibilitou verificarmos que esse saber não está bem construído nas estruturas cognitivas dos participantes.

Com isso, sugerimos ser imprescindível priorizar desde o ensino básico, o ensino do conceito de probabilidade, para que os alunos não tenham obstáculos para apreender e entender conhecimentos posteriores em sua vida estudantil, como o conceito de irreversibilidade.

Este fato nos leva a acreditar que ainda está muito arraigado entre os participantes, uma concepção de ciência pronta e acabada. Portanto, ainda há um longo caminho a ser trilhado para se obter discursos que empreguem palavras cientificamente aceitas para explicar o conceito de irreversibilidade presente na teoria cinética dos gases.

Logo, cabe averiguar se, de fato, é propiciada desde o ensino fundamental, uma formação discente que dê conta de atuar no mundo contemporâneo, de forma a atender os objetivos recomendados nos Parâmetros Curriculares Nacionais, no que tange aos saberes de probabilidade e estatística.

Em suma, as etapas construídas para o jogo digital que simulam o movimento aleatório das partículas em um sistema fechado, se revelou um recurso didático pedagógico em potencial para o professor ensinar os conceitos de probabilidade e irreversibilidade.

Para alcançar tal objetivo, é preciso se pensar em propostas interdisciplinares, em assumir compromissos docentes que investiguem os esquemas prévios dos alunos antes de abordar os conteúdos e utilizar recursos digitais no planejamento de ensino.

Desse modo, sugerimos como alternativa para efetivar a construção científica dos conhecimentos abordados em sala de aula a construção e o desenvolvimento de propostas didático-pedagógicas que integrem conteúdo educacional e jogos digitais.

Com relação ao conceito de aleatoriedade, pudemos perceber que os contextos de aplicação das etapas do jogo digital favoreceram a maioria (seis) dos participantes do grupo 01, construir esquemas e/ou ter buscado em seus pensamentos os já existentes, assimilando-os e os acomodando a cada nova experiência. Esse fato é confirmado no quadro 20, pois no grupo 01 ocorreu a presença da subcategoria discurso de gênero científico em todas as etapas e, no grupo 02, somente na etapa 1D. Além disso, ao compararmos o quadro 22 com o 23, também verificamos que o grupo 01 se sobressaiu ao grupo 02, porque não apresentou a subcategoria discurso não elucidativo.

Entendemos que o emprego das etapas foi mais propício para o grupo 01 emitir palavras tanto de cunho científico como mais próxima do conceito de aleatoriedade do que o contexto proposto na aplicação dos níveis do jogo. Esse dado pode ter acontecido devido às regras propostas no jogo digital.

Constatamos que a aplicação dos níveis do jogo não favoreceu os participantes do grupo 03 a elucidarem o conceito de aleatoriedade, porque prevaleceu as subcategorias do tipo discurso de senso comum ou não elucidativo entre a maioria (seis) dos licenciandos.

Contudo, quando investigamos a categoria conceito de aleatoriedade: imprevisibilidade de trajetórias de partículas (níveis do jogo digital), averiguamos no quadro 26, uma evolução do grupo 03, porque boa parte (quatro) se enquadrou na subcategoria discurso próximo do gênero científico, e apenas L16G₃ utilizou palavras científicas que aludem ao assunto.

Desse modo, dentre os grupos analisados, o grupo 03, a princípio, apresentou mais dificuldade para falar e explicar o conceito de aleatoriedade, porque tivemos, conforme quadro

24, mais participantes (seis) na subcategoria discurso de senso comum ou não elucidativo durante a aplicação do jogo. No grupo 01, quadro 22, apenas L5G₁ se manteve com discurso de senso comum; no grupo 02, quadro 23, verificamos que L8G₂ e L11G₂ permaneceram nessa subcategoria. Esse resultado comprova que os participantes do grupo 01 podem ter se sobressaído, nesse momento de investigação, aos demais grupos, devido à participação de todos os momentos da coleta de dados na pesquisa.

Assim, ao investigarmos o conceito de aleatoriedade: imprevisibilidade de trajetórias de partículas, percebemos a dificuldade de alguns participantes do grupo 01 em entender e explicar o assunto, pois conforme quadro 22, L4G₁ se manteve durante o contexto das etapas na subcategoria discurso de gênero científico, mas, conforme quadro 26, utilizou palavras de senso comum ou não elucidou nos níveis do jogo digital.

Caso semelhante ocorreu com a participante L2G₁, porque observamos, no quadro 22, a subcategoria discurso de gênero científico na etapa 1B e subcategoria discurso próximo do gênero científico nas etapas 1A e 1C. No entanto, no quadro 26, permaneceu com discursos de senso comum.

No grupo 02, tal fato também foi encontrado, porque o participante L9G₂, que se manteve na subcategoria discurso próximo do gênero científico na aplicação das etapas, quadro 23, não soube elucidar o conceito aleatoriedade: imprevisibilidade de trajetórias de partículas no contexto dos níveis do jogo digital, conforme quadro 26.

Com base nos resultados apontados por este trabalho, percebemos que os contextos de aplicação durante as etapas e dos níveis do jogo digital foram importantes, porque nos proporcionou investigar quais palavras os participantes utilizam em seus discursos para entender e explicar os conceitos da teoria cinética dos gases, como aleatoriedade, irreversibilidade e imprevisibilidade de trajetórias de partículas.

Assim, depreende-se que, independente do período dos alunos no curso de licenciatura em química, nem todos apresentaram discursos de gêneros científicos, nos revelando que, somente aplicar as etapas e os níveis do jogo digital que retratam a simulação do movimento aleatório das partículas no sistema, não é suficiente para o processo de ensino e aprendizagem.

Durante a pesquisa, vivenciamos, que os discursos de senso comum ou não elucidativos apresentados pelos participantes podem ser compreendidos cientificamente com a intermediação do professor. Diante essa realidade, concluímos, a partir das análises dos dados, que as etapas construídas para o jogo e os níveis do jogo digital poderão contribuir para que os alunos apreendam corretamente os conceitos científicos de aleatoriedade e irreversibilidade.

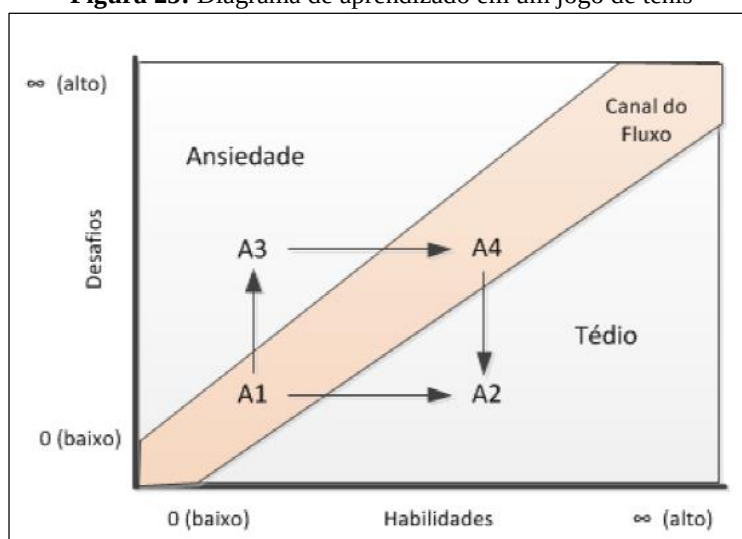
Para isso, é imprescindível que o professor, ao utilizar tecnologia digital como recursos didáticos em seu planejamento de aula, elenque e esclareça os objetivos almejados com o ensino, de modo a efetivar a aprendizagem dos conceitos científicos em sala de aula.

Completamos sugerindo que as etapas e os níveis do jogo digital podem ser empregados como um importante recurso digital nas práticas pedagógicas dos professores, contribuindo com o ensino e a aprendizagem de conceitos científicos em ciências.

PERSPECTIVAS PARA UM FUTURO PROJETO DE PESQUISA

Neste item, sugerimos, como perspectivas para um futuro projeto de pesquisa, investigar o desempenho de cada participante na primeira vez que jogou o nível 1, 2, 3, 4 e 5 do jogo digital, conforme uma adaptação feita a partir do diagrama de aprendizado do autor Csikszentmihalyi (2009).

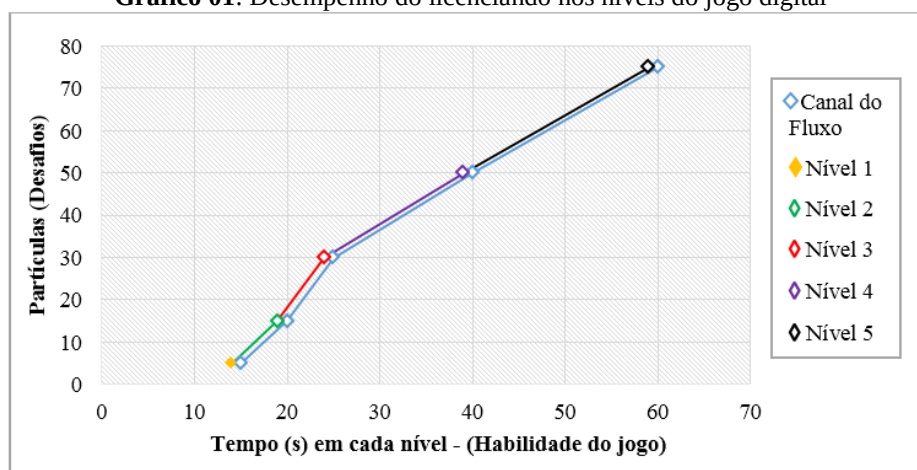
Figura 25: Diagrama de aprendizado em um jogo de tênis



Fonte: Csikszentmihalyi (2009)

Segundo o autor, a faixa diagonal (canal do fluxo) na figura 25, representa a razão ótima entre desafios e habilidade; o estado em que a experiência flui com um mínimo de impedimentos na consciência. Então, as pessoas, estando nesse canal de fluxo, se sentiriam mais felizes e motivadas. Mas, quando o valor numérico no diagrama para o nível de desafios for maior que o nível de habilidades, a razão desafios/habilidades terá um valor maior do que 1 (um) e a pessoa se enquadrará no estado de ansiedade. E, se o valor numérico no diagrama for um valor menor do que 1 (um), a pessoa se encontrará no estado de tédio.

Apresentamos a análise do desempenho do único participante que alcançou o objetivo do jogo. Para isso, realizamos uma adaptação do diagrama de Csikszentmihalyi (2009), conforme o gráfico 1. Essa análise se refere ao primeiro momento/primeira vez em que o participante jogou determinado nível durante o jogo digital, independentemente se ele teve “game over” nos níveis 1, 2, 3, 4 e 5.

Gráfico 01: Desempenho do licenciando nos níveis do jogo digital

Fonte: Diagrama adaptado de Csikszentmihalyi (2009)

Para que ocorra a experiência ótima descrita por Csikszentmihalyi (2009), ou seja, a permanência da pessoa no canal do fluxo, é necessário um equilíbrio entre os desafios percebidos em uma determinada situação e as habilidades que a pessoa possui.

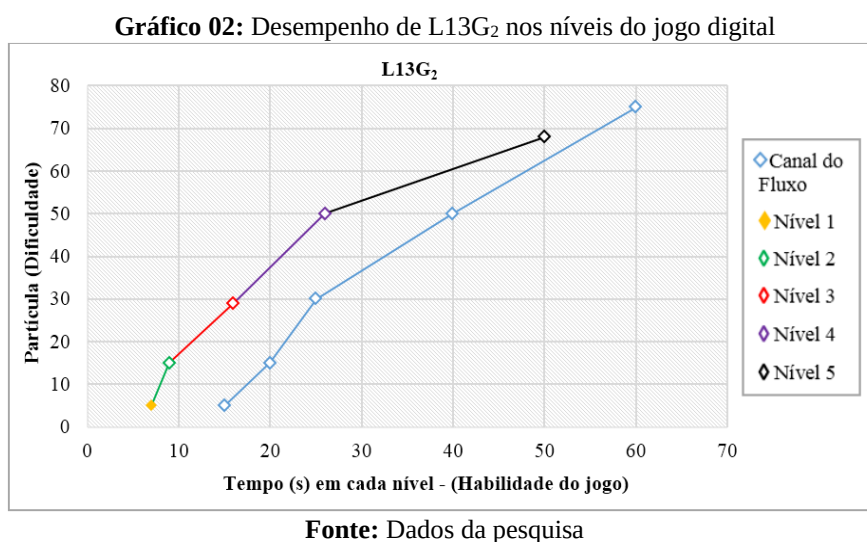
De acordo com o gráfico 01, o eixo y representa o *desafio/partículas*. Em cada nível (1, 2, 3, 4 e 5) do jogo digital, tem-se uma determinada quantidade de partícula que o jogador precisa colidir para obter a pontuação máxima e, conseqüentemente, passar para o próximo nível. E o eixo x do gráfico 1 corresponde o tempo de cada nível, ou seja, a *habilidade* do jogador durante os níveis do jogo. Os valores são estipulados no eixo x (tempo (s), habilidade do jogo) e no eixo y (partículas, desafios).

Conforme o gráfico 1, no jogo digital temos, no nível 1, 5 partículas e um tempo de 15 segundos; no nível 2 tem 10 partículas e um tempo de 20 segundos; no nível 3 tem 15 partículas e um tempo de 25 segundos; no nível 4 tem 20 partículas e um tempo de 40 segundos; no nível 5 tem 25 partículas e um tempo de 60 segundos. A cada nível, somam-se as colisões obtidas, finalizando com um total de 75 pontos, caso colidam com todas as partículas.

Para esta análise, levamos em consideração, no jogo digital, a habilidade do participante em colidir com todas as partículas em menor tempo possível em cada nível; no momento em que ocorre essa situação, o jogador vivencia o estado de *flow*, canal de fluxo. Portanto, se ocorrer isso, o ponto no gráfico não ficará próximo, como representado no gráfico 1; ficará mais distante, conforme o tempo estipulado em cada nível. No entanto, se não ocorrer o “game over”, e o participante conseguir passar os níveis, ele se manterá o mais próximo do canal de fluxo.

Apresentamos o desempenho de L13G₂. É importante ressaltar que L13G₂ foi dentre os 21 participantes, o único que conseguiu concluir o objetivo final do jogo em outro momento, ou seja, colidiu com as 75 partículas azuis nos determinados tempos destinados aos níveis. Mas,

na primeira vez em que jogou o nível 5, conforme o gráfico 02, colidiu com boa parte das partículas azuis e permaneceu desviando das partículas laranjas por um bom tempo, revelando seu bom desempenho.



Também propomos: pesquisa sobre a jogabilidade do jogo digital; análise da performance dos indivíduos em cada etapa do jogo digital; construção de um gráfico: desafios versus habilidades; construir um jogo digital para o modelo do gás real.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, G. M. A. **Jogo digital e analogias**: uma proposta para o ensino de Cinética. 2015. 85 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências, Bauru, 2015.
- ALVES-MAZZOTI, A. J.; GEWANDSZNAJDER, F. **O método nas ciências naturais e sociais**: pesquisa quantitativa e qualitativa. São Paulo: Pioneira 1998.
- ARRUDA, E. P. **Fundamentos para o desenvolvimento de jogos digitais**. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- ATKINS, P. W.; JONES, L. **Princípios de química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.
- ATKINS, P. W.; PAULA, J. **Físico-química**: volume 1. 9ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.
- BAUER M. W.; GASKELL, G. **Pesquisa qualitativa com texto**: imagem e som: um manual prático. Petrópolis, RJ: Vozes; 2002.
- BERNARDES, O. Para uma abordagem do conceito de probabilidade. **Educação & Matemática**, Lisboa, n. 3, 1987.
- BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação qualitativa em educação**. Porto: Porto Editora, 1994.
- BRASIL. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Matemática/ Secretaria de Educação Fundamental**. Brasília: MEC/SEF, 1998.
- BROWN, T.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. **Química: a ciência central**. 9. ed. São Paulo: Prentice-Hall, 2005.
- BRUSH, S. G. History of the Kinetic Theory of Gases. **Storia della Scienza**, v, 7, p. 1-31, 2004. Disponível em: <<https://www.coursehero.com/file/8245915/ITALENC/>>. Acesso em: 16 maio. 2015.
- BRUSH, S. G. The Development of the Kinetic Theory of Gases: VIII: Randomness and Irreversibility. **Arch. Hist. Exact Sci**, vol. 12, p. 1-88, 1974.
- CARUSO, F.; OGURI, V. **Física moderna**: Origens clássicas e fundamentos quânticos. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.
- CARVALHO. A. M. P. Piaget e o ensino de ciências. **R. Fac. Educ.**, São Paulo, 9 (1/2), p. 55-77, 1983.
- CASTELLAN, G. W. **Fundamentos de físico-química**. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2001.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; DA SILVA, R. **Metodologia científica**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

CHIZZOTTI, A. **Pesquisa em ciências humanas e sociais**. São Paulo: Cortez, 2006.

CSIKSZENTMIHALYI, M. **Flow the psychology of optimal experience**. Collins Publishers. Harrer and Row, New York, 2009.

CIRINO M. M. **A intermediação da noção de probabilidade na construção de conceitos relacionados à cinética química no Ensino Médio**. 2007. 201f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência). Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru, SP, 2007.

DAHMEN, S. R. Ludwig Boltzmann: vida e obra. **Gazeta de Física**, v. 30, n.2, p. 16-22, jul. 2007. Disponível em: <http://nautilus.fis.uc.pt/gazeta/revistas/30_2/vol30_2_Art02.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2015.

DAHMEN, S. R. A obra de Boltzmann em Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 281-295, 2006.

DIAS, P. M. D. A hipótese estatística do Teorema-H. **Química Nova**, v. 17, n. 6, p. 472-479, 1994.

DOLLE, J. M. **Para Compreender Jean Piaget**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1995.

ESTEVAM, E. J. G.; CYRINO, M. C. C. T. Educação estatística e a formação de professores de matemática: cenário de pesquisas brasileiras. **Zetetiké**, v. 22, n. 42, p. 123-149, 2014.

FARIAS, I. M. S. et. al. **Didática e docência: aprendendo a profissão**. Brasília: Liber Livro, 2009.

FARINACCIO, M. Estratégias utilizadas por crianças, adolescentes e adultos na resolução de problemas cognitivos: um estudo da EJA. **Educação: Teoria e Prática**, v. 14, n. 26, p. 207-212, 2006. Disponível em: <<http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/107813/ISSN1981-8106-2006-14-26-207-212.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 17 Jul. 2015.

FELDENS, B.; DIAS, P. M. C.; SANTOS, W. M. S. E assim se fez o quantum. . . **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n. 2, p. 2602-1-2602-11, 2010.

FELTRE, R. A. **Química Geral 1**. São Paulo: Moderna, 2008.

FLICK, U. **Introdução à pesquisa qualitativa**. São Paulo: Artmed, 2009.

GEE, J. P. **What video games have to teach us about learning and literacy**. Nova York: Palgrave Macmillan, 2003.

Disponível em: <http://books.google.com.br/books?id=BZIY7TGKySsC&pg=PA1&hl=pt-BR&source=gbp_toc_r&cad=3#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 23 abr. 2015.

GEE, J. P. Learning by Design: good video games as learning machines. **E-Learning**, v. 2, n. 1, 2005. Disponível em: <<http://ldm.sagepub.com/content/2/1/5.full.pdf+html>>. Acesso em: 23 abr. 2015.

GEE, J. P. **What video games have to teach us about learning and literacy**. Nova Iorque: Palgrave Macmilan, 2007.

GODOY, Arilda Schmidt. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. **Revista de Administração de Empresas**, v. 35, n. 3, p. 20-29, 1995.

GOULART, I. B. Análise de Conteúdo. In: GOULART, I. B. (Org.). **Temas de psicologia e administração**. São Paulo: Casa do Psicólogo, 2006.

HAYDT, R. C. C. **Curso de didática geral**. São Paulo: Ática, 2006.

HUIZINGA, J. **Homo Ludens: o jogo como elemento da cultura**. São Paulo: Perspectiva, 2012.

JUN, L. **Chinese Student's Understanding of Probability**. Thesis, National Institute of Education of Nanyang Technological University, Nanyang (China), 2000.

JUUL, J. Introduction to Game Time. In: WARDRIP-FRUIIN, N.; HARRIGAN, P. (ed). **First Person: New Media as Story, Performance, and Game**. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2004. Pp. 131-142. Disponível em: <<http://www.jesperjuul.net/text/timetoplay/>>. Acesso em: 18 abr. 2015.

KESSELRING, T. **Jean Piaget**. Petrópolis: Vozes, 1993.

KISHIMOTO, T. M. **O jogo e a educação infantil**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. M.; WEAVER, G. C. **Química Geral e Reações Químicas**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Técnicas de Pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1996.

LARANJEIRAS, C. C.; CHIAPPIN, J. R. N. A heurística de Boltzmann e a emergência do programa mecânico-estatístico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 297-312, 2006.

LEBOWITZ, J. L. Acerca da origem microscópica dos fenômenos macroscópicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 267-268, 2006.

LES ARCHIVES JEAN PIAGET. **Vie**. Disponível em: <<http://archivespiaget.ch/fr/les-archives/informations/index.html>>. Acesso em: 8 de maio. 2015.

LIMA, L. O. **Piaget para principiantes**. São Paulo: Summus, 1980.

LOPES, C. A. E. **A probabilidade e a estatística no ensino fundamental: uma análise curricular**. 1998. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

LOPES, C. A. E. **O conhecimento profissional dos professores e suas relações com estatística e probabilidade na educação infantil**. 2003. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

LOPES, C. A. E. O ensino da estatística e da probabilidade na educação básica e a formação de professores. **Cad. Cedes**, Campinas, vol. 28, n. 74, p. 57-73, 2008.

LOPES, J. M.; TEODORO, J. V.; REZENDE, J. C. Uma proposta para o estudo de probabilidade no ensino médio. **Zetetiké**, v. 19, n. 36, 2011.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.

MAIA, D. J.; BIANCHI, J. C. de A. **Química geral: fundamentos**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

MATUI, J. **Construtivismo: teoria construtivista sócio-histórica aplicada ao ensino**. São Paulo: Moderna, 1995.

MATTAR, J. **Games em educação: como os nativos digitais aprendem**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

MENDES, T. S. Dificuldades de aprendizagem em adultos: teoria das defasagens cognitivas. **Aprender, caderno de filosofia e psicologia da educação**, n. 9, p. 217-142, 2007.

MINAYO, M. C. S. (Org.). **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. Rio de Janeiro: Vozes, 2001.

MLODINOW, L. **O andar do bêbado: como o acaso determina nossas vidas**. Rio de Janeiro: Zahar, 2011.

MORAES, R. Análise de conteúdo. **Revista Educação**, Porto Alegre, v. 22, n. 37, p. 7-32, 1999.

MORTIMER, E. F. Conceptual change or conceptual profile change? **Science e Education**, v. 4, p. 265-287, 1995.

MORTIMER, E. F. **Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências**. Belo Horizonte, MG: UFMG, 2000.

MORTIMER, E. F. As chamas e os cristais revisitados: estabelecendo diálogos entre a linguagem científica e a linguagem cotidiana no ensino das ciências da natureza. In: SANTOS, W. L. P.; MALDANER, O. A. (Orgs.). **Ensino de química em foco**. Ijuí: Unijuí, 2010. P. 181-207.

ORTIZ, M. F. A. **Educação de Jovens e adultos: um estudo do nível operatório dos alunos**. 2002. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas. FACULDADE DE EDUCAÇÃO, Campinas, SP, 2002. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?view=vtls000248391>>. Acesso em: 17 jul. 2015.

PAIVA, M. G. V. **O desenvolvimento do conceito de probabilidade em pré-adolescentes e adolescentes**. 1981. 147 f. Dissertação (Mestrado em Psicologia). Instituto Superior de Estudos e Pesquisas Psicossociais-ISOP. Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, RJ, 1981.

PERUZZO, F. M.; CANTO, E. L. **Química na abordagem do cotidiano**. 4. ed. – São Paulo: Moderna, 2006.

PIAGET, J.; INHELDER, B. **A origem da ideia do acaso na criança**. Rio de Janeiro: Record, 1951.

PIAGET, J. **Psicologia da inteligência**. Portugal: Editora fundo de quintal, 1967.

PIAGET, J. **Psicologia e Epistemologia**: Por uma Teoria do Conhecimento. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1973.

PIAGET, J. Autobiografia. In: FURTH, H. G. **Piaget e o conhecimento**: fundamentos teóricos. Rio de Janeiro: Forense-Universitária, 1974.

PIAGET, J. **O Nascimento da inteligência na criança**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1987.

PIAGET, J. **Epistemologia genética**. São Paulo: Editora WMF Martins Fontes, 2012.

PRENSKY, M. **Aprendizagem baseada em jogos digitais**. São Paulo: Editora Senac. São Paulo, 2012.

PRENSKY, M. **Digital game-based learning: practical ideas for the application of digital game-based learning**. St. Paul: Paragon House, 2007.

RAMOZZI-CHIAROTTINO, Z. **Em busca do sentido da obra de Jean Piaget**. São Paulo: Ática, 1994.

RANHEL, J. O Conceito de jogo e os jogos computacionais. In: SANTAELLA, L.; FEITOZA, M. (Org.). **Mapa do Jogo**: A diversidade cultural dos games. São Paulo: Cengage Learning, p. 3- 22, 2009.

ROCHA, J. F. M. (Org.). **Origens e evolução das ideias da física**. Salvador: EDUFBA, 2011.

SANTAELLA, L. **O que é semiótica**. São Paulo: Brasiliense, 2007.

SANTANA, M. R. M.; BORBA, R. E. S. R. O acaso, o provável, o determinístico: um estudo sobre concepções e práticas de professores do ensino fundamental. In: X ENEM - Encontro Nacional de Educação Matemática Educação Matemática, Cultura e Diversidade. **Anais...** Salvador, BA, 7 a 9 de julho de 2010.

SANTANA, M. R. M. **O acaso, o provável, o determinístico**: concepções e conhecimentos probabilísticos de professores do ensino fundamental. 2011. 94f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CE, Programa de Pós-Graduação em Educação Matemática, Recife, 2011.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Cortez, 2007.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Florianópolis: UFSC, 2005.

SILVA, S. T. **Sorte? Lógica? Modelos de significação e a noção de acaso de adultos alunos do Proeja**. Vitória, 2014. 236 p. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Psicologia, Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2014.

SOARES, M. H. F. B. **Jogos e Atividades lúdicas para o ensino de Química**. Goiânia: Kelps, 2013.

THOMPSON, Paul. **A Voz do passado: História Oral**. São Paulo: Paz e Terra, 1992.

TRIVIÑOS, A. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.

APÊNDICE 01**QUESTIONÁRIO****DADOS PESSOAIS:**

Sexo: M [] F [] Data de nascimento: _____

DADOS ACADÊMICOS E PROFISSIONAIS:

Curso de graduação: _____

Instituição: _____

Ano de ingresso no curso: _____

Semestre na graduação: _____

- 1). Você trabalha e/ou participa de algum projeto de pesquisa? Se sim, escreva a sua função e o local em que trabalha.
- 2). Pretende atuar na área de formação, ser professor (a)? Se sim, em qual nível de ensino: fundamental, médio ou superior? Explique?
- 3). Qual foi o motivo que o levou a escolher o curso de Licenciatura em Química?
- 4). Com relação aos conteúdos de química, escreva quais são os estados físicos da matéria.
- 5). Desenhe alguns exemplos que identifique os estados físicos da matéria.
- 6). Escreva **como e quando** você aprendeu os estados físicos da matéria durante a sua vida de estudante.
- 7). O que você atribui ao fato de você ter *aprendido* **ou não** sobre os estados físicos da matéria em sala de aula?
- 8). Em sua opinião, como você ensinaria o conteúdo de química: os estados físicos da matéria.

Obrigada pela sua colaboração!
Prof.^a. Márcia Camilo Figueiredo
marciafigueired@utfpr.edu.br
29/08/2013

APÊNDICE 02

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Gostaríamos de convidá-lo a participar da pesquisa intitulada:

“ESTUDO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DA TEORIA CINÉTICA DOS GASES E SUA IMPLICAÇÃO NO ENSINO DE CIÊNCIAS”

A pesquisa faz parte do Programa de Pós-Graduação em Educação para Ciência da Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, Faculdade de Ciências de Bauru, e será orientada pelo professor Drº. Aguinaldo Robinson de Souza. A pesquisa tem como objetivo, investigar se licenciandos em química enunciam e compreendem os conceitos de aleatoriedade e irreversibilidade, presentes na Teoria Cinética dos Gases, por meio de etapas construídas para um jogo digital e da sua aplicação após finalizado. Assim, poderão contribuir com a coleta de dados, elencados nos seguintes momentos:

1º momento: Esclarecimentos juntos aos participantes da pesquisa, acadêmicos do curso de Licenciatura em Química, sobre os objetivos do projeto. Em seguida, aqueles que concordarem em participar, assinarão o termo de consentimento livre e esclarecido – TCLE.

2º momento: Aulas teóricas, dialógicas e expositivas sobre os conteúdos: estados físicos da matéria e Teoria com Cinética dos Gases com a pesquisadora. Essa etapa tem como objetivo, ensinar para os licenciandos, os conteúdos elencados, uma vez que será necessário o seu aprendizado para a conclusão do 4º momento. Esses momentos serão gravados e/ou filmados.

3º momento: Elaboração, apresentação e entrega redigida de planos de aulas desenvolvidos em grupos de licenciandos, referente à Teoria Cinética dos Gases. Essa etapa, decorre do objetivo de analisar concepções dos pesquisados em torno do conteúdo, e também averiguar os critérios elencados por eles para elaboração dos planos de aula, ou seja, analogias, modelos, recursos didáticos, entre outros.

4º momento: Entrevistas individuais dos pesquisados durante o desenvolvimento e aplicação do jogo, ou seja, quando os licenciandos, estarão fazendo uso das etapas de construção e do jogo digital composto com os conteúdos da Teoria Cinética dos Gases. Momento em que pretendemos responder as questões descritas na pesquisa. Para esse momento, o jogo digital estará pronto.

Na realização da pesquisa, os dados serão coletados por meio de várias técnicas, tais como: observações, registros diários, fotos e gravações das contextualizações realizadas durante as aulas teóricas elaborados pelos licenciandos em química, referente ao conteúdo de Teoria Cinética dos Gases, bem como durante as aulas teóricas realizadas pela professora. Após esse momento, será realizada as entrevistas individuais com os licenciandos em química durante a utilização das etapas de construção e aplicação do jogo digital. Para isto, a sua participação é muito importante.

Informamos que poderão ocorrer momentos nos quais o licenciando em Química seja solicitado a manifestar sua opinião durante as aulas apresentadas por eles e pela professora pesquisadora, como também, durante as entrevistas a serem realizadas. Mas, se ele (ela) se sentir constrangido (da) por alguma razão, e não quiser se manifestar seu direito será respeitado.

Gostaríamos de esclarecer que sua participação é totalmente voluntária, podendo você: recusar-se a participar, ou mesmo desistir a qualquer momento sem que isto acarrete qualquer ônus ou prejuízo à sua pessoa. Informamos ainda que, as informações sejam utilizadas somente para os fins dessa pesquisa, e serão tratadas com o mais absoluto sigilo e confidencialidade, de modo a preservar a sua identidade.

Os **benefícios esperados** são de contribuir com o ensino e aprendizagem de conceitos científicos da química, utilizando como recurso, etapas construídas para um jogo digital e da sua aplicação após finalizado. Consideramos essa ferramenta, um importante aliado para o professor ensinar conceitos microscópicos e abstratos existentes na área de ensino de ciências química.

Eu,.....declaro que fui devidamente esclarecido e concordo em participar VOLUNTARIAMENTE da pesquisa coordenada pelo Prof. Dr. Aguinaldo Robinson de Souza.

_____ Data: __/__/_____
Assinatura ou impressão datiloscópica do participante da pesquisa

Eu, Márcia Camilo Figueiredo, declaro que forneci todas as informações referentes ao projeto de pesquisa supra nominado.

_____ Data:

Márcia Camilo Figueiredo

Qualquer dúvida com relação à pesquisa poderá ser esclarecida com a pesquisadora responsável, conforme o endereço abaixo:

Nome: Márcia Camilo Figueiredo
Endereço: Avenida dos Pioneiros, 3131 CEP 86036-370 - Londrina - PR - Brasil
Telefone Geral +55 (43) 3315-6100 - Fax +55 (43) 3315-6121
Fone celular: (44) 9963-0101 (TIM)
E-mail: marciafigueired@utfpr.edu.br
E-mail alternativo: marciacamilof@gmail.com

APÊNDICE 03

ATIVIDADE PROPOSTA

1. Quando você saiu de uma piscina e se expõe ao sol, sua pele fica seca depois de algum tempo. É correto dizer que a água:
 - a) Vaporizou?
 - b) Evaporou?
 - c) Entrou em ebulição?
 - d) Ferveu?
2. Às vezes, nos dias frios e chuvosos, o lado interno dos vidros dos carros, em que há alguém, fica embaçado. Por que isso acontece?
3. Em alguns automóveis há, no vidro traseiro, filamentos (fios finos) que servem como desembaçadores. Ao apertar um botão no painel, o motorista faz esses filamentos se aquecerem e, por causa disso, o vidro é desembaçado. **Proponha** uma explicação para o fato de os filamentos aquecidos desembaçarem o vidro.
4. Uma churrasqueira é feita de ferro. Sabendo que o ponto de fusão do ferro é 1.538°C , o que você pode afirmar sobre a temperatura do carvão em brasa que está na churrasqueira, durante o preparo do churrasco? Explique.
5. Qual a diferença entre propriedades físicas e propriedades químicas?
6. Dê um exemplo de uma propriedade física e um exemplo de uma propriedade química.
7. Das seguintes afirmações, diga quais se referem a propriedades físicas e quais se referem a propriedades químicas:
 - a) O oxigênio gasoso permite a ocorrência de combustões;
 - b) No alto de uma montanha a água ferve a menos de 100°C ;
 - c) O chumbo é mais denso que o alumínio;

d) O ferro é corroído por ácidos como o clorídrico.

8. Das seguintes propriedades, quais são intensivas e quais são extensivas?

a) comprimento; b) área; c) volume; d) temperatura; e) massa.

9. Podemos afirmar que o ferro, o álcool comum e o gás oxigênio são exemplos de matéria? Por quê?

10. O que é transformação material? Como é possível perceber que um material está se transformando?

11. As transformações materiais ocorrem na natureza? Por quê?

12. É possível que um material sofra uma mudança de estado físico? Como?

13. O que afeta o ponto de ebulição de um material? Por que isso acontece?

14. Tirando um pedaço de gelo da geladeira, com o tempo ele derrete. Por que isso acontece?

REFERÊNCIAS

FELTRE, R. A. **Química Geral 1**. São Paulo: Moderna, 2008.

PERUZZO, F. M.; CANTO, E. L. **Química na abordagem do cotidiano**. São Paulo: Moderna, 2006.

APÊNDICE 04**QUESTIONÁRIO - PARTICIPANTE DA PESQUISA**

(Licenciatura em Química – período: noturno)

Data de Aplicação: ____/____/____

Nome: _____

Data de nascimento: ____/____/____

Estado Civil: () Solteiro () Casado () Viúvo () Divorciado

Residente em qual cidade: _____

Cursou a maior parte do *Ensino Fundamental* em:

- () Escola Pública
() Parte em escola pública e parte em particular
() Particular com bolsa parcial
() Particular com bolsa integral
() Particular sem bolsa

Cursou a maior parte do *Ensino Médio* em:

- () Escola Pública
() Parte em escola pública e parte em particular
() Particular com bolsa parcial
() Particular com bolsa integral
() Particular sem bolsa

De que forma você entrou no curso de Licenciatura em Química? (Assinale apenas uma alternativa).

- () Pelo Sistema de Seleção Unificada (Sisu), ou seja, instituições públicas de ensino superior que oferecem vagas para candidatos participantes do Exame Nacional de Ensino Médio (Enem).
() Vestibular
() Convênio
() Outra. Qual? _____

Você tem alguma atividade acadêmica remunerada, qual (is) realiza?

- () PET (Programa Especial de Treinamento)
() Monitoria
() Extensão
() Pesquisa
() Estágio
() Pibid
() Outra. Qual? _____

Você trabalha? () Não () Sim

Se sim, qual a área de atuação? () Comércio () Indústria () Outros _____
Qual a sua função?

Você tem experiência docente? () Não () Sim

Você recebe algum outro benefício na Universidade em que estuda? Qual o nome do benefício, qual a fonte pagadora e qual o valor?

Relacione as disciplinas cursadas e concluídas no curso de Licenciatura em Química até o momento?

Quando você estudou os conteúdos da Teoria Cinética dos Gases?

Outras Informações:

Declaro, para todos os efeitos legais, serem verdadeiras as informações contidas neste questionário.

Local: _____, ____/____/2014.

Assinatura do aluno ou responsável

FIM DO QUESTIONÁRIO

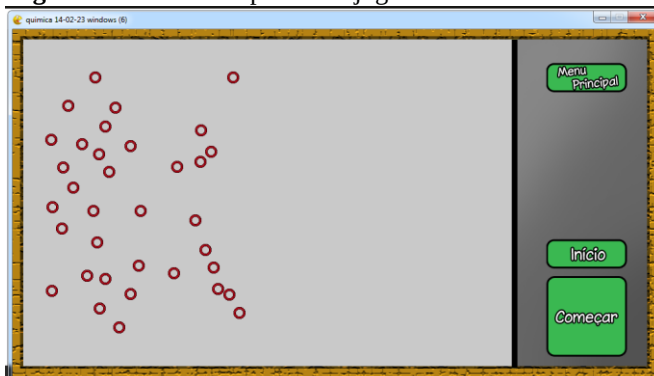
OBRIGADA PELA PARTICIPAÇÃO E COLABORAÇÃO

APÊNDICE 05

ROTEIRO PARA ENTREVISTAS SEMIESTRUTURADAS (ETAPAS 1A, 1B, 1C, 1D)

Etapa 1A: Na tela no computador, há 35 partículas vermelhas distribuídas conforme a figura 1.

Figura 1 - Tela da Etapa 1A do jogo em seus estados iniciais



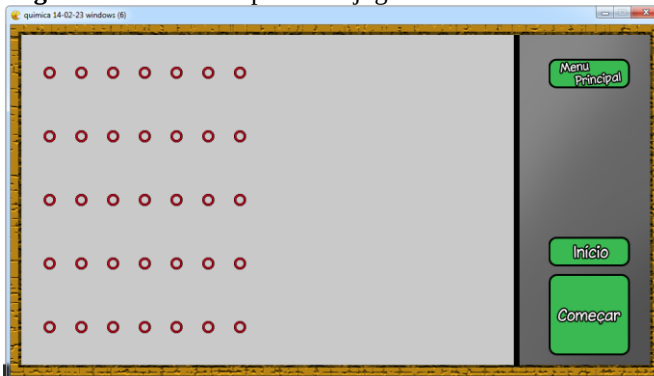
Fonte: Software de Cinética Química

(Grupo de pesquisa Ensino de Ciências e Tecnologia Educacional, UNESP-Bauru)

- 1) De acordo com a tela do computador (FIG. 1), faça um desenho de como as partículas vão se comportar ao apertarmos o botão começar? Tempo para desenharem.
- 2) Quais foram as razões que o (a) levaram a desenhar essas trajetórias?
- 3) Vamos ver como foi a sua previsão com relação à proposta nessa etapa 1A de construção do jogo? Foi como você imaginava?
- 4) Em sua opinião, qual (is) o (s) motivo (s) das partículas irem para lá ou para cá?
- 5) O sistema pode voltar como era no início, antes de apertarmos o botão começar? Alguma parte do sistema pode voltar como era antes? Por que não volta?

Etapa 1B: Na tela no computador, há 35 partículas vermelhas distribuídas conforme a figura 2.

Figura 2 - Tela da Etapa 1B do jogo em seus estados iniciais



Fonte: Software de Cinética Química

(Grupo de pesquisa Ensino de Ciências e Tecnologia Educacional, UNESP-Bauru)

- 1) De acordo com a tela do computador (FIG. 2), faça um desenho de como as partículas vão se comportar ao apertarmos o botão começar? Tempo para desenharem.
- 2) Quais foram as razões que o (a) levaram a desenhar essas trajetórias?
- 3) Vamos ver como foi a sua previsão com relação à proposta nessa etapa 1B de construção do jogo? Foi como você imaginava?
- 4) Em sua opinião, qual (is) o (s) motivo (s) das partículas irem para lá ou para cá?
- 5) O sistema pode voltar como era no início, antes de apertarmos o botão começar? Alguma parte do sistema pode voltar como era antes? Por que não volta?
- 6) Quais as relações que você percebeu entre essa etapa 1B e a etapa anterior (1A)?

Etapa 1C: Na tela no computador, há 35 partículas vermelhas e 35 partículas verdes distribuídas conforme a figura 3.

Figura 3 - Tela da Etapa 1C do jogo em seus estados iniciais.



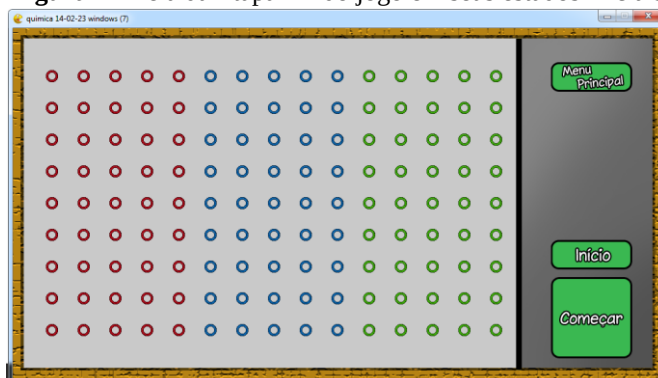
Fonte: Software de Cinética Química

(Grupo de pesquisa Ensino de Ciências e Tecnologia Educacional, UNESP-Bauru)

- 1) De acordo com a tela do computador (FIG. 3), faça um desenho de como as partículas vão se comportar ao apertarmos o botão começar? Tempo para desenharem.
- 2) Quais foram as razões que o (a) levaram a desenhar essas trajetórias?
- 3) Vamos ver como foi a sua previsão com relação à proposta nessa etapa 1C de construção do jogo? Foi como você imaginava?
- 4) Em sua opinião, qual (is) o (s) motivo (s) das partículas irem para lá ou para cá?
- 5) O sistema pode voltar como era no início, antes de apertarmos o botão começar? Alguma parte do sistema pode voltar como era antes? Por que não volta?
- 6) Quais as relações que você percebeu entre essa etapa 1C e a etapa anterior (1B)?

Etapa 1D: Na tela no computador, há 45 partículas vermelhas, 35 partículas azuis e 35 partículas verdes distribuídas conforme a figura 4.

Figura 4 - Tela da Etapa 1D do jogo em seus estados iniciais



Fonte: Software de Cinética Química

(Grupo de pesquisa Ensino de Ciências e Tecnologia Educacional, UNESP-Bauru)

- 1) De acordo com a tela do computador (FIG. 4), faça um desenho de como as partículas vão se comportar ao apertarmos o botão começar? Tempo para desenharem.
- 2) Quais foram as razões que o (a) levaram a desenhar essas trajetórias?
- 3) Vamos ver como foi a sua previsão com relação à proposta nessa etapa 1D de construção do jogo? Foi como você imaginava?
- 4) Em sua opinião, qual (is) o (s) motivo (s) das partículas irem para lá ou para cá?
- 5) O sistema pode voltar como era no início, antes de apertarmos o botão começar? Alguma parte do sistema pode voltar como era antes? Por que não volta?
- 6) Quais as relações que você percebeu entre essa etapa 1D e a etapa anterior (1C)?
- 7) Quais as relações que você percebeu entre as etapas na construção do jogo?

APÊNDICE 06

COMPREENDENDO O JOGO DIGITAL: CINÉTICA QUÍMICA

- ✓ O jogo contém 5 níveis, cada nível é composto por partículas de cor azul, partículas de cor laranja e uma partícula de cor vermelha. Cada nível tem um tempo mínimo estabelecido e uma pontuação máxima;
- ✓ A função da partícula de cor vermelha no jogo é de realizar colisões com as partículas de cor azul, e evitar a colisão com as partículas de cor laranja, impedindo, assim, o “game over”;
- ✓ Em cada nível, quando o jogador conseguir colidir com a partícula de cor vermelha com a partícula de cor azul, ele obterá 1 ponto;
- ✓ Para passar de nível, o jogador deverá evitar a colisão da partícula de cor vermelha com as partículas de cor laranja;
- ✓ Em cada nível há um *tempo estabelecido* para o jogador realizar as colisões possíveis entre as partículas de cor vermelha com as partículas de cor azul;
- ✓ Em cada nível, o jogador pode não obter a pontuação máxima, mas se não colidir com a partícula de cor vermelha com as partículas de cor laranja no determinado tempo, ele passará de nível.

Objetivo do Jogo

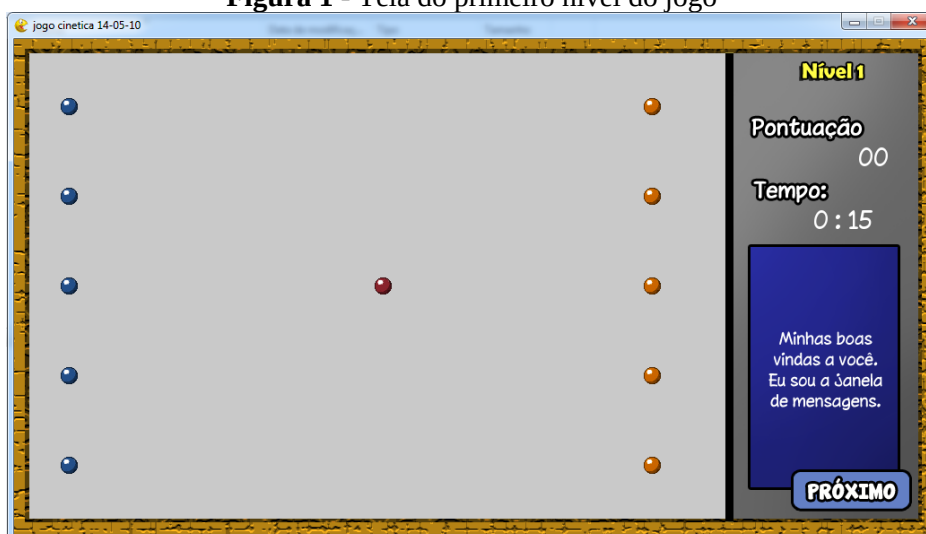
Chegar ao Nível 5 e conseguir a pontuação máxima de 75 pontos. Logo, o jogador não poderá colidir com a partícula de cor vermelha com a partícula de cor laranja, porque ocorrerá o “game over”, ou seja, o fim do Jogo.

Níveis do Jogo

No jogo, cada nível tem uma explicação no lado direito da tela. A primeira informação está escrita em amarelo, indica o nível. Em seguida, tem-se a pontuação, o tempo e uma caixa na cor cinza que traz informações sobre cada nível do jogo. E por último, a palavra “próximo” que indica o nível seguinte.

Nível 1

Lado esquerdo, 5 partículas de cor azul, dispostas em ordem e na vertical em 1 fileira. Lado direito, 5 partículas de cor laranja, dispostas em ordem e na vertical em 1 fileira. E uma partícula de cor vermelha, disposta no meio da tela do Jogo. Do lado direito, encontra-se em uma caixa Box, na cor cinza, as informações do Jogo conforme a figura 1.

Figura 1 - Tela do primeiro nível do jogo

Fonte: Software de Cinética Química
(Grupo de pesquisa Ensino de Ciências e Tecnologia Educacional, UNESP-Bauri)

Objetivo do Nível 1: obter 5 pontos finais por meio da colisão entre a partícula de cor vermelha com as partículas de cor azul; quando ocorrer a colisão, a partícula de cor azul mudará de cor (branca) indicando que, o jogador ganhou 1 ponto a cada colisão; quando terminar o tempo mínimo estipulado no nível 1 (15 s), aparecerá na tela do Jogo a palavra *Vitória* escrita em branco, e no canto direito na caixa Box em azul, as instruções para ir ao nível 2.

Os demais níveis (1, 2, 3, 4 e 5), foram explicados da mesma maneira, porém reportando para as mudanças com relação a quantidade de partículas azuis e laranjas e o tempo.

APÊNDICE 07

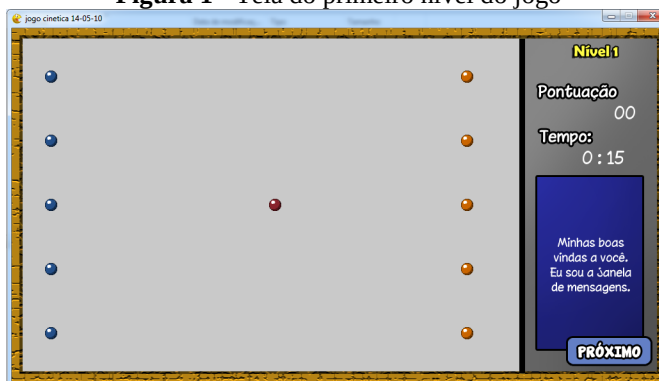
ROTEIRO PARA ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA DO JOGO DIGITAL

NÍVEL 1

- 1) De acordo com a tela do computador (FIG. 1), faça um desenho/previsão das trajetórias entre as partículas, para obter os cinco pontos e passar de nível. *Tempo para desenharem.*

Obs.: Filmar o participante fazendo o desenho, para verificar como ele procede com as colisões.

Figura 1 - Tela do primeiro nível do jogo



Fonte: Software de Cinética Química

(Grupo de pesquisa Ensino de Ciências e Tecnologia Educacional, UNESP-Bauru)

- 2) Quais foram as razões que o (a) levaram a desenhar essas trajetórias?
- 3) Porque você iniciou a trajetória com a partícula de cor azul “x”, ou com a partícula de cor laranja “y”?
- 4) E, porque você não iniciou a trajetória com a partícula “x” ou “y”?

Em seguida, o participante iniciará o jogo.

- 5) Vamos ver como foi a sua previsão/desenho das trajetórias com relação às trajetórias ocorridas durante o nível 1 do jogo.
- 6) Foi como você imaginava?
- 7) Qual foi a sua preocupação neste *nível 1 do jogo*?
- 8) Qual foi a estratégia utilizada para você conseguir passar o Nível 1?

Desempenho dos licenciandos durante os níveis do jogo digital

Anotar no quadro 01, o tempo em que o participante conseguiu colidir com a partícula de cor vermelha com a última partícula de cor azul e o número de pontos obtidos em cada nível.

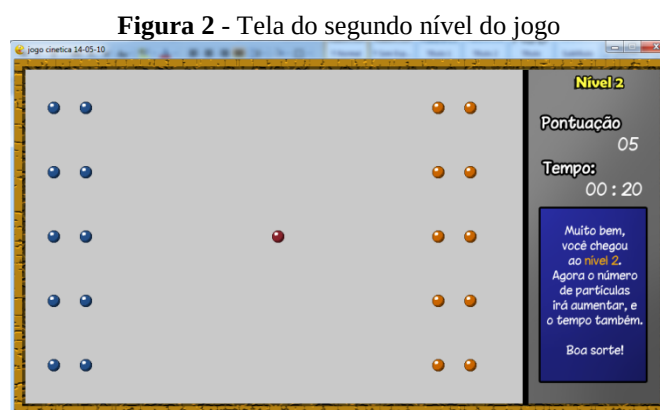
Quadro 01: Desempenho do jogador nos níveis do jogo digital

Nível	Tempo da última colisão com a partícula azul	Tempo da última colisão com a partícula laranja	Pontos
1			
2			
3			
4			
5			

Fonte: Dados da pesquisa

NÍVEL 2

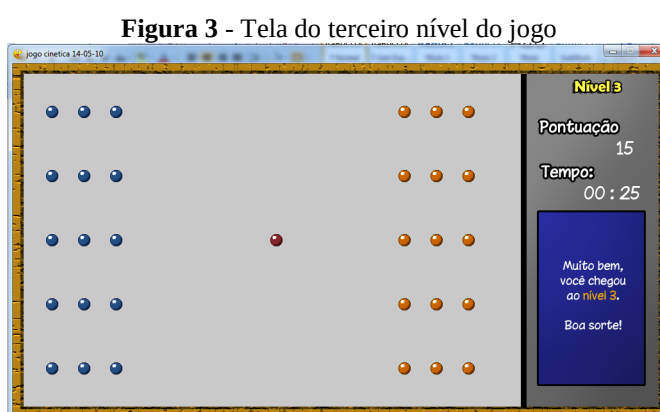
Para o nível 2, também foi realizado as entrevistas semiestruturadas, conforme o roteiro descrito acima; nesse nível 2, temos 10 (dez) partículas das azuis e das partículas laranjas, e um tempo maior de vinte segundos, para conclusão do nível, conforme a figura 2.



Fonte: Software de Cinética Química
(Grupo de pesquisa Ensino de Ciências e Tecnologia Educacional, UNESP-Bauru)

NÍVEL 3

Para o nível 3, também foi realizado as entrevistas semiestruturadas, conforme o roteiro descrito acima. Porém, neste nível 3 do jogo digital, temos uma quantidade maior de partículas azuis (15) e de partículas laranjas (15), como também, um tempo (25s) maior para conclusão do nível, conforme a figura 3.



Fonte: Software de Cinética Química
(Grupo de pesquisa Ensino de Ciências e Tecnologia Educacional, UNESP-Bauru)

NÍVEL 4

Para o nível 4, também foi realizado as entrevistas semiestruturadas, conforme o roteiro descrito acima. Porém, neste nível 4 do jogo digital, temos uma quantidade maior de partículas azuis (20) e de partículas laranjas (20), como também, um tempo (40s) maior para conclusão do nível, conforme a figura 4.

Figura 4 - Tela do quarto nível do jogo

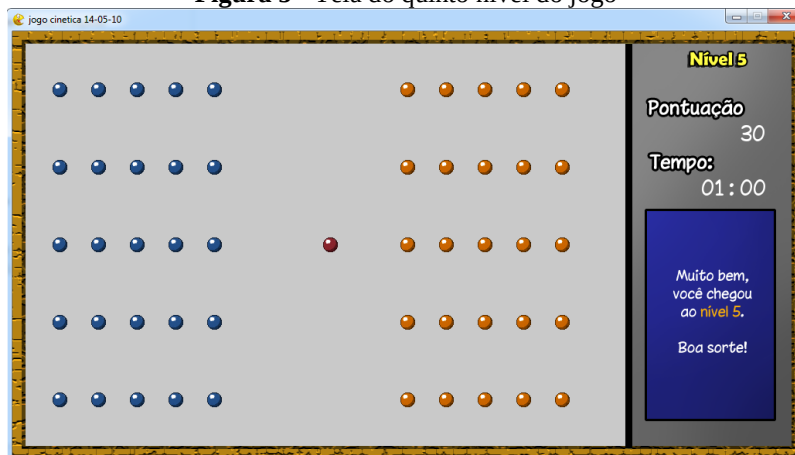


Fonte: Software de Cinética Química
(Grupo de pesquisa Ensino de Ciências e Tecnologia Educacional, UNESP-Bauru)

NÍVEL 5

Para o nível 5, também foi realizado as entrevistas semiestruturadas, conforme o roteiro descrito acima. Porém, neste nível 5 do jogo digital, temos uma quantidade maior de partículas azuis (25) e de partículas laranjas (25), como também, um tempo (60s) maior para conclusão do nível, conforme a figura 5.

Figura 5 - Tela do quinto nível do jogo



Fonte: Software de Cinética Química
(Grupo de pesquisa Ensino de Ciências e Tecnologia Educacional, UNESP-Bauru)

APÊNDICE 08

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Gostaríamos de convidá-lo a participar da pesquisa intitulada:

“ESTUDO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DA TEORIA CINÉTICA DOS GASES E SUA IMPLICAÇÃO NO ENSINO DE CIÊNCIAS”

A pesquisa faz parte do Programa de Pós-Graduação em Educação para Ciência da Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, Faculdade de Ciências de Bauru, e será orientada pelo professor Drº. Aguinaldo Robinson de Souza. A pesquisa tem como objetivo, investigar se licenciandos em química enunciam e compreendem os conceitos de aleatoriedade e irreversibilidade, presentes na Teoria Cinética dos Gases, por meio de etapas construídas para um jogo digital e da sua aplicação após finalizado. Assim, poderão contribuir com a coleta de dados, elencados nos seguintes momentos:

1º momento: Esclarecimentos juntos aos participantes da pesquisa, acadêmicos do curso de licenciatura em química, sobre os objetivos do projeto. Em seguida, aqueles que concordarem em participar, assinarão o termo de consentimento livre e esclarecido – TCLE.

2º momento: Entrevistas individuais dos pesquisados durante a aplicação de etapas construídas para um jogo digital (etapas 1A, 1B, 1C e 1D).

3º momento: Quando os licenciandos, estarão fazendo uso do jogo digital composto com os conteúdos da Teoria Cinética dos Gases, ou seja, jogo finalizado.

Na realização da pesquisa, os dados serão coletados por meio de entrevistas semiestruturadas individuais com os licenciandos em Química, durante a utilização das etapas e níveis do jogo digital. Para isto, a sua participação é muito importante.

Informamos que ocorrerão momentos nos quais o licenciando em química serão entrevistados, solicitando então, o seu manifestar e a sua opinião durante as entrevistas, como também fazer desenhos com relação aos conteúdos inseridos em cada etapa/nível de elaboração do Jogo. Mas, se ele (ela) se sentir constrangido (da) por alguma razão, e não quiser se manifestar seu direito será respeitado.

Gostaríamos de esclarecer que sua participação é totalmente voluntária, podendo você: recusar-se a participar, ou mesmo desistir a qualquer momento sem que isto acarrete qualquer ônus ou prejuízo à sua pessoa. Informamos ainda que as informações

sejam utilizadas somente para os fins dessa pesquisa, e serão tratadas com o mais absoluto sigilo e confidencialidade, de modo a preservar a sua identidade.

Os **benefícios esperados** são de contribuir com o ensino e aprendizagem de conceitos científicos da química, utilizando como recursos, etapas construídas e níveis de um jogo digital. Consideramos essa ferramenta como um importante aliado para o professor ensinar os conceitos microscópicos e abstratos existentes na área de ensino de ciências química.

Eu,.....declaro que fui devidamente esclarecido e concordo em participar VOLUNTARIAMENTE da pesquisa coordenada pelo Prof. Dr. Aguinaldo Robinson de Souza.

_____ Data: __/__/__

Assinatura ou impressão datiloscópica do participante da pesquisa

Eu, Márcia Camilo Figueiredo, declaro que forneci todas as informações referentes ao projeto de pesquisa supra nominado.

_____ Data:

Márcia Camilo Figueiredo

Qualquer dúvida com relação à pesquisa, poderão ser esclarecidas com a pesquisadora responsável, conforme o endereço abaixo:

Nome: Márcia Camilo Figueiredo

Endereço: Avenida dos Pioneiros, 3131 CEP 86036-370 - Londrina - PR - Brasil

Telefone Geral +55 (43) 3315-6100 - Fax +55 (43) 3315-6121

Fone celular: (44) 9963-0101 (TIM)

E-mail: marciafigueired@utfpr.edu.br

E-mail alternativo: marciacamilof@gmail.com

APÊNDICE 09

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Gostaríamos de convidá-lo a participar da pesquisa intitulada:

“ESTUDO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DA TEORIA CINÉTICA DOS GASES E SUA IMPLICAÇÃO NO ENSINO DE CIÊNCIA”

A pesquisa faz parte do Programa de Pós-Graduação em Educação para Ciência da Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho (UNESP), Faculdade de Ciências de Bauru, e será orientada pelo professor Dr^o. Aguinaldo Robinson de Souza. A pesquisa tem como objetivo, investigar se licenciandos em química enunciam e compreendem os conceitos de aleatoriedade e irreversibilidade, presentes na Teoria Cinética dos Gases, por meio de etapas construídas para um jogo digital e da sua aplicação após finalizado. Assim, poderão contribuir com a coleta de dados, elencados nos seguintes momentos:

1º momento: esclarecimentos juntos aos participantes da pesquisa, acadêmicos do curso de Licenciatura em Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina, vinculado ao Programa Institucional de Bolsa de Iniciação – Pibid (Programa do Ministério da Educação, gerenciado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-CAPES), sobre os objetivos da pesquisa. Em seguida, aqueles que concordarem em participar assinarão o termo de consentimento livre e esclarecido – TCLE.

2º momento: *Antes de iniciar* cada nível do jogo, solicitar aos participantes, desenhos das trajetórias entre as partículas de cor vermelha com as partículas de cor azul para obter os pontos necessários para passar de nível. *Em seguida*, realizar entrevistas semiestruturadas individuais com os pesquisados com relação aos níveis do jogo (1, 2, 3, 4 e 5), ou seja, quando os licenciandos, estarão fazendo uso do Jogo digital: “Cinética dos Gases”.

Para a realização desta pesquisa, os dados serão coletados conforme dados acima. Para isto, a sua participação é muito importante.

Informamos que ocorrerão momentos nos quais o licenciando em Química será entrevistado, solicitando então, o seu manifestar e a sua opinião durante as entrevistas, como também fazer desenhos com relação aos conteúdos inseridos em cada nível do Jogo. Mas, se ele (ela) se sentirem constrangido (da) por alguma razão, e não quiser se manifestar, seu direito será respeitado.

Gostaríamos de esclarecer que sua participação é totalmente voluntária, podendo você: recusar-se a participar, ou mesmo desistir a qualquer momento sem que isto acarrete qualquer ônus ou prejuízo à sua pessoa. Informamos ainda que, as informações sejam utilizadas somente para os fins dessa pesquisa, e serão tratadas com o mais absoluto sigilo e confidencialidade, de modo a preservar a sua identidade.

Os **benefícios esperados** são de contribuir com o ensino e aprendizagem de conceitos científicos da química, utilizando como recursos, etapas construídas e níveis de um jogo digital. Consideramos essa ferramenta como um importante aliado para o professor ensinar os conceitos microscópicos e abstratos existentes na área de ensino de ciências química.

Eu,.....declaro que fui devidamente esclarecido e concordo em participar VOLUNTARIAMENTE da pesquisa coordenada pelo Prof. Dr. Aguinaldo Robinson de Souza.

_____ Data: ____/____/____

Assinatura ou impressão datiloscópica do participante da pesquisa

Eu, Márcia Camilo Figueiredo, declaro que forneci todas as informações referentes ao projeto de pesquisa supra nominado.

_____ Data:

Márcia Camilo Figueiredo

Qualquer dúvida com relação à pesquisa, poderão ser esclarecidas com a pesquisadora responsável, conforme o endereço abaixo:

Nome: Márcia Camilo Figueiredo

Endereço: Avenida dos Pioneiros, 3131 CEP 86036-370 - Londrina - PR - Brasil

Telefone Geral +55 (43) 3315-6100 - Fax +55 (43) 3315-6121

Fone celular: (44) 9963-0101 (TIM)

E-mail: marciafigueired@utfpr.edu.br

E-mail alternativo: marciacamilof@gmail.com