

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
CAMPUS DE BAURU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A
CIÊNCIA

Donizete Aparecido Buscatti Junior

**O PERFIL EPISTEMOLÓGICO DO CONCEITO DE ESPAÇO EM ALUNOS
DO CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA.**

***Bauru
2014***

Donizete Aparecido Buscatti Junior

**O PERFIL EPISTEMOLÓGICO DO CONCEITO DE ESPAÇO EM ALUNOS DO
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, da Área de Concentração em Ensino de Ciências, da Faculdade de Ciências da UNESP/Campus de Bauru, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Educação para Ciências, sob a orientação do Prof. Dr. Moacir Pereira de Souza Filho.

*Bauru
2014*

Buscatti Junior, Donizete Aparecido.

O perfil epistemológico do conceito de espaço em
licenciandos em Física / Donizete Aparecido
Buscatti Junior, 2014.

Orientador: Moacir Pereira de Souza Filho

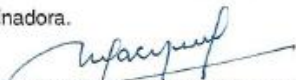
Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual

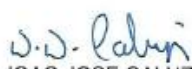
Paulista. Faculdade de Ciências, Bauru, 2014

1. Ensino de Física. 2. História da Ciência.
3. Gaston Bachelard

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE DONIZETE APARECIDO BUSCATTI JÚNIOR, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA, DO(A) FACULDADE DE CIÊNCIAS DE BAURU.

Aos 07 dias do mês de fevereiro do ano de 2014, às 14:00 horas, no(a) Sala 03 da Pós-graduação da Faculdade de Ciências, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. MOACIR PEREIRA DE SOUZA FILHO do(a) Departamento de Física, Química e Biologia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente, Prof. Dr. JOAO JOSE CALUZI do(a) Departamento de Física / Faculdade de Ciências de Bauru, Prof. Dr. GILMAR PRAXEDES DANIEL do(a) Departamento de Física - Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de DONIZETE APARECIDO BUSCATTI JÚNIOR, intitulado "O PERFIL EPISTEMOLÓGICO DO CONCEITO DE ESPAÇO EM ALUNOS DO CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA". Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. MOACIR PEREIRA DE SOUZA FILHO


Prof. Dr. JOAO JOSE CALUZI


Prof. Dr. GILMAR PRAXEDES DANIEL

Donizete Aparecido Buscatti Junior

**O PERFIL EPISTEMOLÓGICO DO CONCEITO DE ESPAÇO EM ALUNOS DO
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, da Área de Concentração em Ensino de Ciências, da Faculdade de Ciências da UNESP/Campus de Bauru, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Educação para Ciências

BANCA EXAMINADORA

Presidente e orientador: *Prof. Dr. Moacir Pereira de Souza Filho. (UNESP/Presidente Prudente-SP).*

2º Examinador: *Prof. Dr. João José Caluzi. (UNESP/Bauru-SP).*

3º Examinador: *Prof. Dr. Gilmar Praxedes Daniel. (UEMS/Dourados-SP).*

Bauru, 07 de fevereiro de 2014.

BUSCATTI JUNIOR, D. A. **O perfil epistemológico do conceito de espaço em alunos do curso de licenciatura em Física.** Mestrado (Educação para as Ciências), Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru/SP, 2014. 94p.

RESUMO

Um dos conceitos mais utilizado nas aula de Física é o conceito de espaço. Embora os livros didáticos tratem este conceito de maneira simples, uma análise mais cuidadosa mostra que ele sofreu várias interpretações ao longo do processo histórico. A noção de perfil epistemológico de Gaston Bachelard (1884-1962) divide essa pluralidade em diferente zonas do perfil: Realismo Ingênuo, Empirismo, Racionalismo Simples e Racionalismo Completo. Neste sentido, a preocupação central desta pesquisa foi verificar como futuros professores em Física (alunos do curso de Graduação) concebem a noção de espaço. Para isso, foi investigado no primeiro semestre do ano de 2013, uma amostra de alunos que cursavam a disciplina de Estágio Supervisionado em Física na Unesp de Presidente Prudente/SP. Inicialmente foi aplicado um questionário contendo questões fechadas e abertas a fim de levantar as concepções iniciais. Em seguida, esses alunos realizaram uma crônica de aula (uma simulação de aula) para o professor e os colegas tratando especificamente o conceito de espaço. Finalmente, o pesquisador realizou uma entrevista com os alunos. Os dados foram transcritos e analisados à luz do referencial bachelardiano. Os dados mostraram que os alunos não tinham noção da pluralidade do conceito de espaço e que a vivência do indivíduo influencia fortemente seu perfil individual.

Palavras-chave: *Conceito de Espaço, Gaston Bachelard, Perfil Epistemológico, História e Filosofia da Ciência, Licenciatura em Física.*

BUSCATTI JUNIOR, D. A. **The epistemological profile of the concept of space students of degree in Physics.** Master (Science Education), Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru/SP, 2014. 94p.

ABSTRACT

One of the concepts used in physics class is the concept of space. Although textbooks treat this concept in a simple way, a more careful analysis shows that it has undergone various interpretations over the historical process. The notion of epistemological profile of Gaston Bachelard (1884-1962) divides this plurality in different areas of the profile: Naive Realism, Empiricism, Rationalism Rationalism Simple and Complete. In this sense, the central concern of this research was to investigate how future teachers in Physics (students of Graduation) conceive the notion of space. Therefore, it was investigated in the first half of the year 2013, a sample of students who attended the course of Supervised Internship in Physics UNESP Presidente Prudente/SP. Initially we applied a questionnaire with closed and open questions to raise initial conceptions. Then these students performed a chronicle of class (a simulation class) to the teacher and colleagues specifically addressing the concept of space. Finally, the researcher conducted an interview with students. Data were transcribed and analyzed in light of the Bachelardean. The data showed that students had no notion of the plurality of the concept of space and the experience of the individual strongly influences your individual profile.

Keywords: *Concept of Space, Gaston Bachelard, Epistemological Profile, History and Philosophy of Science, Degree in Physics.*

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	09
CAPÍTULO 1 - REFERENCIAL EPISTEMOLÓGICO.....	14
CAPÍTULO 2 - ASPECTOS HISTÓRICOS DO CONCEITO DE ESPAÇO.....	31
CAPÍTULO 3 - UM ESTUDO EMPÍRICO ACERCA DO CONCEITO DE ESPAÇO.....	52
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E ANÁLISE DE DADOS.....	59
CAPÍTULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	85
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
ANEXOS.....	93

INTRODUÇÃO

Um dos conceitos mais utilizados nas aulas de Física (e presentes nos livros didáticos) está relacionado ao conceito de “espaço”. No entanto, há por parte dos professores, uma noção simplória a respeito deste conceito, considerando o “espaço” sendo “*a posição que um móvel ocupa no decorrer do tempo*”. Ao nosso ver isso se dá, primeiramente pelo processo de formação dogmático baseado no formalismo matemático, bem como, pela forma como este conceito é tratado nos livros didáticos e, principalmente, por falta de um conhecimento sistematizado da gênese e da formação deste conceito ao longo do processo histórico.

Neste sentido, uma das linhas de investigação no ensino de Física é aquela que defende o uso da História e Filosofia da Ciência (HFC) no ensino. Embora não haja unanimidade, pesquisadores consideram que essa prática pode ser utilizada como uma estratégia de ensino eficiente, visando uma compreensão mais ampla da pluralidade de concepções no desenvolvimento do conceito ao longo do tempo.

Tem sido notado que, no ensino “tradicional”, pouca ou quase nenhuma ênfase é dada em discussões de cunho histórico-epistemológico, seja com respeito à natureza da ciência e dos fatores que determinaram o sucesso daquela descoberta científica, seja com o intuito de revelar quais aspectos históricos, políticos e culturais foram cruciais para a vigência de um dado conceito. Tal constatação pode ser verificada em pesquisas sobre as concepções de professores, em análises de livros didáticos ou manuais de laboratório (SILVEIRA; OSTERMANN, 2002).

Apesar de a literatura apontar que isso ocorre já há algum tempo, as indicações dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), bem como os PCN+, sugerem o desenvolvimento de habilidades e competências no sentido de estabelecer um diálogo sucinto acerca dos desenvolvimentos científicos, suas histórias e implicações para a sociedade. Especificamente, tais documentos enfatizam que se deve compreender as ciências como construções humanas,

entender como elas se desenvolveram por acumulação, continuidade ou ruptura de paradigmas, e quais as transformações essas mudanças causaram na sociedade (BRASIL, 2002). No tocante a disciplina de Física, o que se espera é a formação de uma cultura científica, que permita ao indivíduo a interpretar fatos, fenômenos e processos naturais, sendo ele capaz de situar a atividade humana como parte integrante da natureza. Para que isso ocorra, sugere-se que o conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, que está em constante transformação e associado as outras formas de expressão e produção humanas (*ibid*).

Uma perspectiva semelhante àquela mencionada acima, foi apresentada há mais de vinte anos por Zanetic (1989), no seu trabalho de doutoramento, no qual ele defende que o conhecimento da Física (e o científico) deve ser tratado como elemento integrante de uma cultura geral. A sua tese é a de que o conhecimento científico está intimamente relacionado com a vida social, e como tal, leva a marca da cultura da época, na qual é parte integrante, influenciando e sendo influenciado por outros ramos do conhecimento, sendo o relacionamento da física com a filosofia um dos melhores exemplos. Como se pode notar, a luta para que ocorra um uso adequado da HFC no ensino de ciências está presente a mais de duas décadas; disso, surge naturalmente a questão: se a literatura sugere há muito tempo que se deva utilizar HFC nas salas de aula, por que ainda observa-se carências drásticas na prática docente desta perspectiva? A resposta desta indagação será analisada no capítulo posterior; no entanto, duas informações a precederão: uma, relativa ao crescimento da produção acadêmica sobre o uso de HFC no ensino; e outra, sobre um trabalho internacional, escrito há quase duas décadas.

Um estudo recente, que consistiu em uma revisão bibliográfica de seis periódicos de renome, buscou apresentar uma visão geral do crescimento do uso de HFC no ensino de ciências, desde 1980, apresentando resultados muito significativos (FREIRE JUNIOR, 2012). Se na década de 1980 o número desses artigos era apenas de 12, na primeira década desse século esse número atingiu a marca expressiva de 101 artigos. Do total dos 160 artigos analisados neste estudo, 106 são voltados ao ensino de Física, e destes, somente 14, ou seja, 9% do total, lidam com a *intervenção efetiva em sala de*

aula. Este dado em si já reflete bem o problema desta linha de pesquisa e dá início a uma resposta sobre a indagação acima. O trabalho de revisão mencionado, ainda apresenta como dado interessante, que todos, dentre esses 9%, usaram narrativa histórica, alguns incluindo textos originais. Por conta disso, todos também fizeram uso da história da ciência e oito incluíram, também, a filosofia da ciência na sua intervenção em sala de aula. Tais pesquisadores enfatizam fortemente que a comunidade de pesquisadores da área deve investir na realização de intervenções visando implementar o uso de HFC no Ensino de Ciências (em particular de Física), tornando-as objetos de investigação para que se possa ter uma melhor compreensão da sua eficácia em situações reais de sala de aula. Em outras palavras, a pesquisa deve ser articulada com a prática docente, segundo esses autores. Deste maneira, este trabalho de pesquisa tem por preocupação central atingir tal articulação em sua pesquisa empírica.

A pertinência da HFC no Ensino de Ciências já foi sinalizada na literatura acadêmica internacional (também, há quase duas décadas). Matthews (1995) apresenta as contribuições que a abordagem contextualista (aquela que prioriza dimensões ética, social, histórica, filosófica e tecnológica da ciência), podem trazer contribuições para: humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade; tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico e da capacidade inventiva; contribuir para a superação de um “mar” de falta de significados que dizem ter inundado as salas de aula de ciências, em que fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam; melhorar a formação do professor auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica (ou, ao menos que exista uma!) e autêntica, ou seja, uma maior compreensão do saber *sobre* ciência, bem como, a forma pela qual os profissionais deste ramo de estudo trabalharam e trabalham.

Dadas as considerações iniciais acerca da temática deste trabalho a respeito da (HFC), apresenta-se, de forma sucinta, o problema que norteou a pesquisa aqui descrita:

Como que licenciandos em física compreendem o conceito de espaço, e de que modo a HFC pode subsidiar o tratamento deste tema (e de outros), tão vasto e tão complexo, no trabalho em sala de aula?

Deste modo, a pesquisa referente a esta dissertação de mestrado teve especificamente três objetivos:

- i) Fazer um levantamento histórico, tendo em vista evidenciar subsídios para o ensino de ciências;
- ii) Executar a análise, segundo um referencial epistemológico, do entendimento dos estudantes de um conceito corriqueiro (o de “*espaço*”), porém, com uma ampla gama de significados;
- iii) Encontrar recursos que auxiliem os professores de ciências a utilizarem a HFC no ensino.

O *Capítulo 1* constitui um suporte teórico para o trabalho de pesquisa, tanto pelo levantamento que foi feito sobre pesquisas que defendem a HFC, quanto pelo referencial teórico-epistemológico deste estudo: Gaston Bachelard (1884-1962). Em Bachelard vamos nos “apoderar” de um conceito fundamental de sua epistemologia: a noção de perfil epistemológico.

O *Capítulo 2* apresenta a pluralidade de significados que o conceito de “*espaço*” teve no pensamento científico de vários pensadores, cientistas e filósofos, ao longo do processo histórico: *Aristóteles*, *Euclides*, *Newton*, *Einstein*, dentre outros.

O *Capítulo 3*, apresentaremos a metodologia de pesquisa do trabalho empírico, aplicada à alunos do curso de licenciatura em Física da Unesp de Presidente Prudente, no decorrer de uma disciplina de formação docente: o estágio supervisionado.

O *Capítulo 4*, é destinado a análise dos dados. Nele é analisado o questionário inicial, as crônicas de aula preparadas pelos alunos e apresentadas ao professor e aos colegas de classe e, finalmente, as entrevistas realizadas após o curso, onde os alunos puderam esboçar o seu perfil epistemológico sobre o conceito de “*espaço*”.

Nas *Considerações Finais* analisa-se a atividade de pesquisa por meio de um pensamento reflexivo sobre o trabalho desenvolvido e suas possíveis contribuições para o ensino.

CAPÍTULO 1 - UM REFERENCIAL HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICO

O objetivo desse capítulo é apresentar justificativas que apontem para as principais contribuições que o uso de história e filosofia da ciência (HFC) promovem no ensino de ciências. De início, serão discutidos aspectos gerais da literatura especializada e, na sequência, discorre-se sobre o referencial teórico utilizado na pesquisa.

1.1 História e Filosofia da ciência na educação científica: se funciona, por que ainda não foi implementada de forma adequada?

Com o panorama apresentado na introdução, percebe-se que a HFC está gradualmente ganhando espaço no ensino, especialmente no nível universitário e no nível médio. No entanto, ainda existem grandes barreiras para que essa disciplina desempenhe efetivamente o papel que pode e deve ter no ensino. Em um trabalho sobre os potenciais didáticos da história da ciência, o Professor Roberto de Andrade Martins (2006) destacou três principais problemas referentes a esse problema:

- 1) Carência de um número suficiente de professores com formação adequada para pesquisar e ensinar de forma correta a história das ciências. A solução para tal é única e óbvia: precisa-se de cursos de pós-graduação em história da ciência, com um maior intercâmbio com os melhores centros de pesquisa do exterior. Enquanto este problema não for resolvido, deve-se ter em mente que os professores improvisados podem prestar um grande desserviço a educação;
- 2) Falta de material didático adequado que possa ser utilizado no ensino (textos sobre história da ciência, em português, de bom nível). Pode-se encontrar muitos livros sobre história das ciências em livrarias e bancas, no estilo de enciclopédias e biografias sobre os “gênios da ciência”. Todavia, o problema não é a quantidade, mas sim a qualidade. Da

mesma forma que existem os professores improvisados, existem os escritores improvisados, que acabam (não intencionalmente, mas devido a formação precária que tiveram) produzindo textos com informações históricas equivocadas e fatos deturpados. Um livro sobre história da ciência deve ser escrito por quem trabalha na área e realiza pesquisa séria. Essa informação pode parecer óbvia, mas comumente é negligenciada (MARTINS, 2001);

- 3) Há, infelizmente, muitos equívocos a respeito da própria natureza da história da ciência e seu uso na educação (MARTINS, 1993). O uso inadequado da história da ciência pode gerar empecilhos graves no processo de ensino (e, conseqüentemente, no de aprendizagem) de conceitos científicos. Dentre estes empecilhos, destacam-se: redução da história da ciência a nomes, datas e anedotas; concepções errôneas sobre o método científico que, mesmo no ensino superior, caracteriza-se como problema considerável (SILVEIRA & OSTERMANN, 2002) e; o uso de argumentos de autoridade.

A literatura aponta problemas em outros sentidos. Segundo Silva (2012), a aproximação entre HFC e o ensino ocorre mais no nível teórico do que na prática docente. Um dos grandes desafios, segundo esta autora, é a produção de material didático que contemple de forma adequada aspectos da necessária transposição didática entre conteúdos produzidos por especialistas e aqueles a serem utilizados por professores e estudantes. Ou seja, além da produção de um material de qualidade, é necessário um trabalho didático de modo a deixar os textos acessíveis. A autora ainda coloca que não basta culpar a ausência deste tipo de conteúdo na formação dos professores ou a falta de material de qualidade. É preciso levar em conta vários obstáculos, como: a existência de uma cultura sobre o que é ensinar física, que difere em muito da cultura de se ensinar outras disciplinas; as atitudes e crenças epistemológicas dos professores de física; a existência de vínculos institucionais que limitam a inserção de conteúdos de HFC, principalmente os relacionados com o cumprimento de um currículo repleto de conteúdos específicos que pouco valoriza conhecimentos históricos sobre natureza da ciência e processuais e

;por fim, e não menos grave, o fato deste conteúdo não ser cobrado em exames oficiais e vestibulares.

No que tange a formação de professores, Martins (2007) é enfático ao colocar que a simples consideração de elementos históricos e filosóficos na formação de professores das áreas científicas, ainda que feita com qualidade, não garante a inserção desses conhecimentos nas salas de aula do ensino básico, tampouco uma reflexão mais aprofundada, por parte dos professores, do papel da HFC no campo da didática das ciências. Segundo este autor, o problema principal é a existência de um abismo entre o que é visto no curso de licenciatura e o que ocorre realmente no ambiente escolar. Para superar tal distância, é necessário, além dos apontamentos já mencionados, realizar um trabalho mais aplicado, de modo que as teorias sejam, de fato, postas em prática.

Ainda no que se refere a formação de professores, é comum que os cursos de HFC utilizem esse conteúdo apenas como fonte de exemplos na apresentação de uma diversidade de teorias sobre a ciência (MATTHEWS, 1994). Tal abordagem apresenta uma série de problemas. Primeiro, os alunos são levados a aceitar interpretações históricas fornecidas por filósofos da ciência, sem que tenham como submetê-la a crítica, o que resulta em um ensino dogmático tal qual o ensino tradicional. Segundo, Matthews (1994) esta abordagem não favorece uma aprendizagem significativa, no sentido de ser reflexiva e crítica, aos alunos sobre a natureza da ciência, pois eles são confrontados com respostas a questões epistemológicas que eles, na maioria das vezes, sequer se colocaram. Em terceiro lugar, os alunos de ciências naturais tem, em geral, um conhecimento relativamente limitado sobre história e filosofia, de modo que seja mais acessível para eles, um curso que não enfoque somente discussões epistemológicas, mas situem tais discussões no contexto de episódios históricos relacionados à ciência que estudam (EL-HANI, 2006).

Outro problema no tocante ao tema, consiste em delimitar qual história e qual filosofia da ciência são capazes de melhorar o ensino de Física. Bastos Filho (2012) trabalhou nesta problemática. Com base em ponderações acerca do perigo do anacronismo, que é, grosso modo, a tentação de se interpretar fatos do passado à luz das teorias presentes; o autor problematiza os cuidados

que o professor deve ter ao preparar suas aulas para construir uma inserção histórico-filosófica séria e judiciosa que favoreça uma educação científica que compreenda, além dos aspectos cognitivos necessários, também os valores e atitudes úteis na vida individual e coletiva. Pautado em uma reconstrução racional da história da ciência (em geral, feita por meio de episódios históricos), é possível que o professor favoreça o surgimento de atalhos cognitivos, subsídios na aprendizagem de conceitos científicos.

Muitos pesquisadores apontam que, no escopo da HFC aplicada ao ensino, a questão da Transposição Didática merece ser debatida e também encarada como um obstáculo a ser superado. Neste sentido, Oliveira e Martins (2012) colocam que, para lidar com as dificuldades da inserção de conteúdos da HFC, com vistas a promover o ensino e a aprendizagem de diversos aspectos da natureza da ciência (NdC), deve-se buscar auxílio na transposição didática chellavardiana, que consiste, grosso modo, em avaliar o saber escolar em retrospectiva. Por meio dessa teoria, ao se analisar um currículo já estabelecido ou um curso tradicionalmente aplicado, é possível acompanhar e/ou retraçar o percurso epistemológico ocorrido na transposição; tornando possível identificar indícios do que deve ser feito quando se busca meios para inovar o currículo. Com esse embasamento teórico, os autores mencionados realizaram uma pesquisa empírica, aplicada em uma turma do Ensino Médio, e, como resultado, foi possível identificar muitos obstáculos na compreensão da NdC, como, por exemplo a concepção ingênua sobre ciência. Os autores frisam bem que, levar HFC para sala de aula envolve diferentes obstáculos, dificuldades e desafios. Diagnosticar estes problemas e propor soluções, mesmo que provisórias, é algo que pode contribuir de forma significativa, não somente no uso didático da HFC, mas para a educação científica de um modo geral. Como a inovação curricular vem sendo debatida cada vez com mais veemência, os aportes teóricos fornecidos pela transposição didática se mostram muito pertinentes.

1.2 HFC aplicada ao ensino de ciências: exemplos de experiências

Posto de forma breve algumas das dificuldades e desafios relativos ao uso didático da HFC, elencamos uma análise de exemplos nos quais essa abordagem foi realizada, seja na educação escolar ou no ensino superior. O

intuito é constatar a consistência do argumento de defesa referente aos benefícios que a perspectiva histórico-epistemológica fornece.

Ferreira e Martins (2012) avaliaram a inserção da temática Natureza da Ciência(NdC) na disciplina de história e filosofia da ciência. A pesquisa ocorreu na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), e teve como principal conclusão, que tal inserção foi de fundamental importância para que esses estudantes problematizassem a compreensão ingênua que a maioria deles possuía sobre a visão da NdC, antes do início das atividades dessa disciplina de caráter inovador. É interessante colocar que muitos estudantes relataram que tal concepção ingênua era (e é) muito presente, inclusive, no corpo docente do ensino superior. O procedimento metodológico da disciplina iniciou-se com a aplicação de um pré-teste constituído por onze questões abertas que envolviam as seguintes temáticas: finalidades da ciência, caráter provisório do conhecimento, diferenças entre lei e teoria, metodologia científica, ciência *versus* outras formas de conhecimento e fatores extracientíficos. A estrutura da disciplina era da seguinte forma: de início, evidentemente, eram trabalhadas as teorias epistemológicas desenvolvidas no início do século XX (o problema do método científico e da indução, ideias de Popper, Lakatos, Kuhn, Bachelard e Feyerabend); a segunda parte da disciplina, apresentava temas históricos, como a evolução de dados conceitos em mecânica; e a terceira parte, abordava a relação entre NdC e ensino. Ao final, os estudantes foram entrevistados com base naquilo que constava no pré-teste para possibilitar comparações.

Cordeiro e Peduzzi (2012) realizaram uma experiência com estudantes de licenciatura e bacharelado em Física com enfoque no tema de história da radioatividade, na qual um conjunto de textos de história da Física compôs o material de leitura e as atividades que formaram um módulo incerto em uma disciplina de história da Física. Três artigos desses autores compuseram o material de leitura: dois dedicados aos primeiros vinte anos da história da radioatividade e um que analisou as consequências da descontextualização dessa história em um livro didático que é referência no ensino superior. O referido módulo permitiu que os estudantes entrassem em contato com autores como Marie e Pierre Curie, Henri Becquerel, Ernst Rutherford, Frederick Soddy, dentre outros; permitiu também que eles se envolvessem com erros e acertos

históricos e epistemológicos da transposição didática de livros do Ensino Superior e do Ensino Médio. Desta forma, mesmo se tratando de um exemplo piloto, essa experiência de ensino não só problematizou o envolvimento de futuros professores de Física com livros didáticos; como também influenciou positivamente em sua formação. No final, os autores reforçaram a ideia de que os professores precisam de uma formação adequada em história da sua ciência, para que possam ao menos reconhecer os saberes expostos no livro didático e as lacunas que ele pode trazer, especialmente em relação à História da Ciência e às concepções do trabalho científico. Se a imagem do conhecimento científico e o modo pelo qual se trabalha nele está distorcida, a culpa não é exclusivamente do livro didático; o professor é também ator principal no Ensino de Ciências. (*ibid*).

Um estudo sobre a efetiva inserção da disciplina de HFC no currículo de licenciatura em Física foi realizado por Rosa e Martins (2007), na Universidade Federal da Bahia (UFBA). O currículo foi analisado segundo aspectos tais como: a perspectiva da matriz disciplinar, as disciplinas e suas ementas e, principalmente, a partir da percepção dos professores do Instituto de Física em relação ao tema abordado e suas práticas pedagógicas. Por meio de pesquisa documental e entrevistas semi-estruturadas, a pesquisa apresentou resultados que apontaram para a necessidade de se pensar também na formação continuada de docentes universitários, ligados à formação inicial de professores de Física, particularmente no que se refere às discussões em HFC. No geral, o Instituto viu de forma positiva a inserção de HFC na formação dos licenciados em Física e procuram fazê-lo nas aulas que são ministradas, no entanto, eles tem encontrado dificuldade para isso, basicamente em função das suas próprias formações, uma vez que a grande maioria são bacharéis. Além disso, a matriz curricular carece de pesquisas sobre o desempenho do novo currículo. Foi constatada uma falta de divulgação de experiências, nesse sentido, em outras universidades (o que, de fato, é raro); isso reforça a necessidade, tanto de se desenvolverem pesquisas, quanto de compartilhá-las.

Um exemplo de intervenção com um viés na utilização de HFC foi realizado por Correa e Caldeira (2011), o qual envolveu um assunto muito intrigante: a evolução biológica. Este trabalho foi realizado em uma turma de alunos de licenciatura em Ciências Biológicas, na disciplina de Evolução, em

que foram propostos módulos didáticos abordando as modificações pelas quais o conceito de evolução biológica passou no decorrer da história. Além dos módulos, os pesquisadores trabalharam com uma apostila composta por textos originais dos cientistas que mais contribuíram para o desenvolvimento da ideia de evolução (tais como Lamarck, Darwin, e Wallace) que fomentaram as discussões no decorrer da disciplina. Como o objetivo foi o de verificar quais interferências os módulos (e as discussões) iriam surtir nas concepções dos estudantes, os autores optaram em utilizar um questionário aberto, que foi (o mesmo) aplicado ao início e ao término da disciplina, como recurso metodológico. A análise das respostas possibilitou indentificar mudanças em uma parcela significativa dos estudantes, segundo as categorias de análise. Quase a metade dos questionários analisados (44,6%) não evidenciaram mudanças na ideia atualmente aceita pela comunidade científica, o que pode ser explicado pelo fato de a disciplina abranger um tempo insuficiente para promover a ruptura necessária; além do mais, o tema envolve crenças pessoais e paradigmas profundamente enraizados, o que dificulta ainda mais o trabalho docente. No entanto, o uso da abordagem propiciou momentos de reflexões e confrontos com as concepções iniciais, de modo a tornar a aula mais desafiadora e dar início a uma formação com um enfoque mais crítico aos futuros docentes.

Pode-se notar que, no escopo das pesquisas atuais em Ensino de Ciências, a linha referente a HFC, exercendo subsídio tanto teórico quanto prático, teve um aumento significativo em volume e relevância. De fato, uma concepção de ciência é imprescindível para o docente e, conseqüentemente, para o aluno. Neste sentido, concordamos com Rufatto e Carneiro (2011) referente ao fato de que existe uma relação direta entre a concepção de ciência do professor, e a imagem que ele transmite ao aluno. A propagação de uma imagem distorcida do fazer científico gera, indiscutivelmente, problemas agravantes e de difícil superação.

Discutida a relevância da abordagem em HFC para o ensino, segue-se uma síntese do referencial teórico epistemológico utilizado nesta pesquisa.

1.3 Alguns aspectos da epistemologia de Gaston Bachelard

Gaston Bachelard (1884-1962) teve uma formação ampla, tendo uma sólida formação em Matemática e lecionado disciplinas científicas, como Química e Física. Além disso, além de lecionar a disciplina de filosofia, foi profundo conhecedor da ciência do seu tempo. Foi a partir desse seu constante contato com a ciência, e também da sua atividade como docente universitário, que Bachelard teceu profundas reflexões epistemológicas segundo os mais diversos temas: progresso científico (concepção e entraves), a formação do sujeito (ou mais especificamente, do espírito científico), obstáculos epistemológicos, os problemas da educação científica (tanto com respeito a prática docente quanto aos materiais didáticos); dentre outros assuntos.

A obra deste “filósofo-cientista” é vastíssima e de profundidade considerável. No entanto, serão abordadas as duas (muito provavelmente as principais) noções por ele desenvolvidas: as ideias de *obstáculos epistemológicos* e *perfil epistemológico*. Como esta pesquisa teve o intuito de analisar as concepções de estudantes, a segunda noção terá um papel mais relevante e será, portanto, discutida a maior parte. Antes de apresentar parte da epistemologia bachelardiana, serão feitos comentários gerais sobre a obra, de modo a caracterizá-la, assim como as principais epistemologias desenvolvidas no início do século XX, como uma severa crítica ao positivismo. Na verdade, tal crítica foi, em geral, o ponto de partida desta e da maioria das teorias epistemológicas da época. Ao final desta seção, serão apresentadas pesquisas em educação científica que tiveram como aporte teórico a epistemologia bachelardiana, no intento de evidenciar a importância, e também os limites, da aplicação desta teoria do ensino de Ciências.

Segundo três das principais obras de Bachelard (*O novo espírito científico* (1974), *A formação do espírito científico* (2002) e *A filosofia do Não* (2009)), pode-se perceber, em linhas gerais, duas das principais características em sua epistemologia: uma *racionalidade* e uma constante *recorrência histórica*. A primeira vem da crítica ao empirismo vigente, evidenciando uma clara posição contrária a “ideologia daquilo que é dado”, contra a ideia de que a simples observação dos fatos nos leva ao conhecimento. A recorrência histórica é outra característica marcante nesta epistemologia, uma vez que o autor concebe a verdade de hoje, como uma retificação histórica de um erro do

passado. De uma forma geral, à medida que o conhecimento científico evolui e progride, pensamentos são retificados.

Bachelard viveu em uma época de profundas mudanças no conhecimento científico, de modo que muitas teorias foram substituídas e outras, completamente distintas, emergiram; em todos os âmbitos, da Matemática à Biologia. Isso certamente foi inspirador em sua obra, uma vez que se observa forte ênfase no novo conhecimento (ou “nova ciência”). É “a realização do racional” (ou “realização do matemático”) que marca esta nova ciência, ou seja, segundo Bachelard, o pensamento científico é “realizante”. A experiência científica moderna é um momento da construção teórica, da “razão confirmada”. De um modo geral, o pensamento faz o fenômeno, que é construído antes de ser dado.

Apesar de criticar duramente o empirismo, Bachelard não o suspende por completo. Segundo ele, é possível superar a dicotomia empirismo-racionalismo por meio de uma postura epistemológica fundamentalmente dialética, que busque integrar e contemplar estes opostos a partir de uma posição intermediária, embora marcadamente racional. De certa forma, o empirismo não é completamente abandonado, mas superado e recuperado novamente em nova instância, sob nova ótica, de modo a manter uma relação dialética com o racionalismo. É somente numa posição intermediária que pode-se compreender tal dialética da razão e da técnica, própria de uma ciência mais avançada. Neste ponto, manifestam-se um *racionalismo aplicado* e um *materialismo técnico* (ou instruído). A partir deste centro, perspectivas “debilitadas” de pensamento levariam aos extremos do idealismo ou do realismo ingênuo; conforme mostra o esquema:

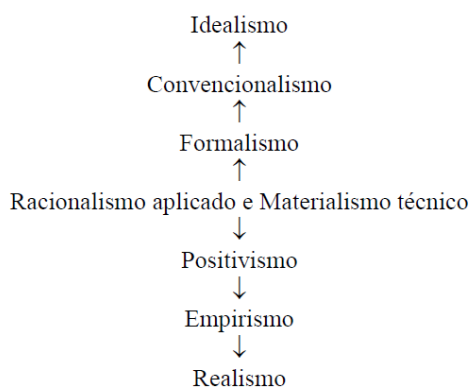


Figura 1—Posição central do pensamento bachelardiano

As principais perspectivas da epistemologia bachelardiana (*racionalidade e recorrência histórica*) se articulam para caracterizar o progresso científico. As noções de *obstáculo epistemológico* e de *perfil epistemológico*, que serão discutidas a seguir, explicitam isso que foi dito.

A noção de obstáculo epistemológico

Ao analisar o progresso da ciência, Bachelard conclui que é em termos de obstáculos que deve-se colocar o problema do conhecimento científico; não de modo a priorizar as dificuldades surgidas decorrentes da complexidade dos fenômenos, mas para superar problemas inerentes, o que é a evidência do progresso do espírito científico. A gênese de tais obstáculos é inevitável e ocorre na relação entre os sujeitos e os objetos do conhecimento, aparecem no “próprio âmago do ato de conhecer”, por isso são ditos epistemológicos. A superação destes, no entanto, permite o avanço não apenas do conhecimento individual, mas também da formação do conceito ao longo de um processo histórico.

Em sua obra *A formação do espírito científico*, Bachelard busca analisar exhaustivamente a natureza destes obstáculos epistemológicos, tendo como referência as revoluções ocorridas no decorrer da história da ciência, com enfoque especial no século XVIII. Dentre tais obstáculos, serão analisados: *experiência primeira*, *conhecimento geral*, *obstáculo verbal*, *conhecimento utilitário e pragmático* e o *obstáculo animista*.

a) A experiência primeira:

Este obstáculo constitui-se nas inferências imediatas, precipitações, oriundas de atividades pouco pensadas, isentas (ou quase) de ordenação. O sensível torna-se um terreno definitivo, ao invés de ser concebido como provisório.

Bachelard (2002) enfatiza que tal observação primeira sempre é um obstáculo inicial para a cultura científica, e é caracterizada como “pitoresca, concreta, natural e fácil. Basta descrevê-la para se ficar encantado.” Essa

intuição primeira, que normalmente deseja ser verdadeira e absoluta, manifesta legítimos entraves a pesquisa (na verdade, na apreensão do conhecimento científico, em geral) por satisfazer-se com os resultados rápidos, calcados puramente em registros empíricos, afastando-se, portanto, do racional e do abstrato.

b) O conhecimento geral:

Como o nome sugere, esse obstáculo é decorrente de generalizações apressadas, muito comuns em situações nas quais um pesquisador se precipita para antecipar resultados e extrair conclusões. De certa forma, o raciocínio indutivo representa a ânsia de concluir uma lei científica geral a partir de um conjunto de fatos particulares e, em grande parte, desconexos, o que simboliza mais um obstáculo ao percurso do cientista.

Bachelard (2002) ilustra elegantemente esse obstáculo com a situação de uma experiência realizada no vácuo, com a ajuda do “tubo de Newton”, na qual se infere que, no vácuo, todos os corpos caem com a mesma velocidade. O entrave ao pensamento, neste exemplo, urge pelo fato de que o ato de generalizar imobiliza o pensamento, uma vez que a noção de velocidade esconde a noção de aceleração. É, no entanto, a noção de aceleração que corresponde a realidade dominante. Desta forma, a própria matemática dos fenômenos é hierarquizada, e “nem sequer a primeira forma matemática está certa, nem sempre a primeira forma é de fato formativa”.

c) O obstáculo verbal:

Assim como os dois obstáculos acima descritos, este é igualmente corriqueiro. Origina-se em situações nas quais usa-se uma única palavra, uma única “função-palavra” para a função de expressar características e propriedades de fenômenos diversos. Embora seja muito habitual, o uso abusivo de imagens familiares para descrever de forma mais simples uma situação ou fenômeno, Bachelard (2002) sinaliza que tal uso impede a visão abstrata, de modo a anular uma leitura sob o crivo da razão.

Nesta perspectiva, Bachelard (2009) diz que “o acúmulo de imagens prejudica evidentemente a razão, no qual o lado concreto, apresentado sem prudência, impede a visão abstrata e nítida dos problemas reais”.

Bachelard usa um exemplo de uma esponja para explicitar que uma palavra, uma imagem, é capaz de explicar fenômenos de natureza diversa. As propriedades e características da esponja bastam para a compreensão completa de vários fenômenos.

d) O conhecimento unitário e pragmático:

O primeiro conhecimento (unitário) induz a generalizações ainda mais amplas. A formulação de “princípios gerais da natureza” põe por fim as experiências, o que leva a valorizações abusivas que, em geral, ocultam as contradições dessa experiência. Com respeito ao pensamento pragmático, este configura-se como um obstáculo quando leva a convicção de que “encontrar uma utilidade é encontrar a razão” (Bachelard, 2002). Tanto o conhecimento unitário, quanto aquele que leva a ligação entre o verdadeiro e o útil, são características da mentalidade pré-científica.

e) O obstáculo animista:

Para Bachelard (2002) as explicações relativas aos fenômenos de maneira geral enfatizam características do reino animal e vegetal, o que conduz a conceitos errôneos. As teorias que permeiam, por exemplo, as propriedades dos ímãs, incorporam a idéia de princípios ativos: uma alma, um princípio vital está veiculado ao fluido elétrico e magnético. Logo, tendo em vista que os objetos inanimados podem associar-se a vida, os mesmos estão suscetíveis aos ciclos da natureza, como nascimento, crescimento e morte. Um exemplo bastante ilustrativo destacado por Bachelard refere-se à corrosão de um metal: associava-se a corrosão, durante o período pré-científico, o adoecimento do metal e quase que inevitavelmente a sua morte, quando não tratado.

No geral, os obstáculos estão presentes no pensamento científico, e revelam os conceitos e noções obscuras firmemente solidificadas no espírito científico. Pelo fato de, na grande maioria das vezes, refletirem questões de

foro afetivo, tornam-se de difícil desprendimento. A mente pouco alerta, impede a purificação e mobilização intelectual do pesquisador, que constantemente deve estender sua atenção a obstrução e suplantação de idéias que, por estarem contaminadas de obstáculos epistemológicos, tornam-se infecundas.

A noção de perfil epistemológico

Bachelard foi além da constatação da existência de obstáculos na evolução do conhecimento científico individual e coletivo. Tendo sempre como aporte as profundas revoluções sofridas pela ciência (em especial, as ocorridas na transição do século XIX para o século XX), ele estabelece as bases filosóficas do novo espírito científico. Tal proposta encontra-se na sua obra *“A filosofia do Não”*.

Em linhas gerais, Bachelard (2009) defende que, para que o progresso do espírito científico ocorra, é necessário que o conhecimento não-científico seja eliminado; assim como os erros, os valores e preconceitos acumulados. Uma vez que “a ignorância é um tecido de erros positivos, tenazes, solidários”, percebe-se o progresso mencionado não se dá de maneira trivial.

Na referida obra, Bachelard deixa claro que o progresso deve se dar no sentido de um racionalismo crescente. No entanto, ele não o abandona por completo, uma vez que é imposta uma relação dialética entre ambos (empirismo e racionalismo), pois no pensamento científico, exige-se que se coloque em uma posição intermediária entre teoria e prática, entre matemática e experiência.

Bachelard procura estruturar o progresso epistemológico da ciência, defendendo que existem estágios que se sucedem ao longo da evolução filosófica de um conhecimento científico particular (em geral, um conceito). Tais estágios iriam do animismo (ou realismo ingênuo), ao surracionalismo, passando pelo empirismo e pelo racionalismo tradicional (ou clássico); sempre para uma racionalidade crescente. O surracionalismo engloba o que Bachelard chama de racionalismo completo e racionalismo dialético.

Para ilustrar como se dá o progresso epistemológico, de acordo com essa proposta, Bachelard descreve o conceito de massa segundo cada estágio;

- a) *Animismo (ou realismo ingênuo)*: a massa aparece como uma “apreciação quantitativa grosseira” da realidade, relacionada essencialmente com “coisas grandes”. As visões corriqueiras do senso comum, que atribuem uma relação direta entre a massa e o “tamanho”, enquadram-se nessa categoria;
- b) *Empirismo*: a concepção é vinculada diretamente com a mensuração e com o instrumento para tal, de forma objetiva e precisa. Bachelard refere-se a uma “conduta da balança” que carrega consigo toda a noção por trás do conceito de massa, de modo a criar-se um pragmatismo seguro: “pensar é pesar” (Bachelard, 2009);
- c) *Racionalismo simples*: o conceito encontra-se inserido em um corpo de noções, segundo uma teoria já estabelecida. Para o caso do conceito de massa, a teoria é a mecânica newtoniana, que o apresenta relacionado com os conceitos de força e aceleração. O caráter simbólico da ideia de massa irá intensificar-se com a mecânica racional (a massa de um corpo é a razão entre a intensidade da força nele aplicada e a aceleração por ele adquirida), passando a ser um “instante da construção racional”;
- d) *Racionalismo completo*: neste estágio, uma propriedade fundamental do conceito é posta em cheque em uma teoria consistente. Segundo a teoria da relatividade, massa deixa de ser um conceito absoluto e passa a ser uma função da velocidade. Surge-se, então, uma ruptura com o racionalismo tradicional, evidenciando uma pluralização e segmentação das noções tradicionais. A ruptura dá-se no “interior da noção”;
- e) *Racionalismo dialético*: nesse estágio final, o conceito é definido segundo uma teoria ainda mais sofisticada, e uma propriedade ainda mais fundamental é modificada. Segundo a mecânica de Dirac, pode-se atribuir um valor negativo a massa, o que gera inconsistência em todos os estágios anteriores, e também suscita uma “dialética externa”. O conceito é novo e surge desvinculado da realidade comum, mas pode ser trabalhado com um instrumental matemático adequado e é, portanto, inteligível e consistente.

Bachelard propõe que estes estágios (ou doutrinas) sejam hierarquizados, e que a evolução de um determinado conceito científico, entendida como um processo que passa por todas essas doutrinas, represente um progresso filosófico desse conceito.

Ao discutir a relação entre essas doutrinas, Bachelard conclui que é uma relação dialética, pluralista, e não de exclusão. Um conceito, ou mesmo uma área do conhecimento, não pode ser concebido somente como realista ou racionalista, uma vez que ambos foram (e estão) presentes na formação científica, cultural e intelectual do sujeito. A partir dessa noção de pluralismo filosófico hierarquizado, Bachelard criou o conceito de perfil epistemológico, segundo o qual as diversas doutrinas filosóficas encontram, no indivíduo, uma “magnitude de presença” maior ou menor, dependendo do conceito e da formação cultural do sujeito. “Seria através de tal perfil mental que poderia medir-se a ação efetiva das diversas filosofias na obra do conhecimento” (Bachelard, 2009).

O perfil epistemológico depende também do conceito a que se analisa. Para exemplificar isso, Bachelard traçou o seu perfil epistemológico referente ao conceito de massa e de energia:

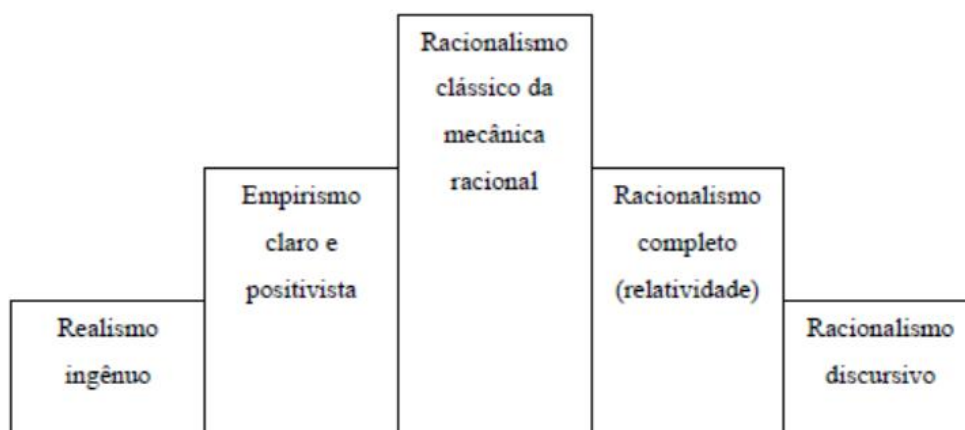


Figura 2 - Perfil epistemológico da noção de massa em Bachelard

Mesmo Bachelard tendo sólida formação em ciências, especialmente em Química e Física, percebe-se em seu perfil epistemológico uma considerável parcela de Empirismo; o que é reflexo dos anos em que trabalhou com o manuseio (o que incluía a medida de massa) de postagens.



Figura 3 - Perfil epistemológico da noção de energia em Bachelard

Em síntese, o progresso do conhecimento científico, entendido como o progresso epistemológico no sentido de um racionalismo crescente, é a essência da ideia que Bachelard propôs ao cunhar a “Filosofia do Não”, que designa uma nova filosofia das ciências. O avanço do conhecimento dá-se contra um conhecimento anterior, negando-o. Tal “não”, todavia, nunca é definitivo, dado que o reconhecimento, afastamento dos erros (retificação), que a psicanálise do conhecimento objetivo intenta, permite recuperar esse mesmo conhecimento sob uma nova (e mais racional) perspectiva.

Bachelard e o ensino de ciências: algumas reflexões

A primeira lição da epistemologia bachelardiana que pode contribuir para o ensino e pesquisa em ensino de ciências, se refere a cautela que deve-se ter quanto aos obstáculos epistemológicos. Tanto em aulas quanto em pesquisas, a praxe é a preocupação estar voltada apenas para os obstáculos referentes ao processo de ensino-aprendizagem, situados nas metodologias de ensino, nos processos cognitivos dos alunos e no contexto educacional mais global, o que acaba negligenciando os obstáculos inerentes ao próprio conhecimento científico. Com efeito, tende-se a não se analisar epistemologicamente o ensino, de uma forma geral, o que acaba acentuando os obstáculos epistemológicos, que podem acarretar em problemas na aprendizagem.

A proposta de repensar as concepções a respeito do conhecimento comum também pode ser vista como uma contribuição significativa. Bachelard (2009) diz que deve-se questionar o conhecimento cotidiano dos estudantes, bem como permitir o questionamento do mesmo, no processo de ensino-aprendizagem. A apreensão do conhecimento científico implica em aprender conhecimentos que constroem ou, colocam em cheque dadas concepções da experiência comum. No entanto, em momento algum Bachelard fala de aniquilamento ou mesmo substituição de um conhecimento pelo outro. A epistemologia bachelardiana é essencialmente pluralista: campos de conhecimentos diversos tem racionalidades distintas; não sendo, portanto, unificável.

Outro aspecto interessante que tem implicações diretas no processo de ensino-aprendizagem em ciências, reside na ideia de repensar o papel do erro. Bachelard (2002) ensina que o erro possui uma função positiva na gênese do saber. Logo, cabe ao professor a tarefa de encontrar e refletir sobre a necessidade dos estudantes em errarem no decorrer do ato de aprender ciências. Desta forma, o erro deveria deixar de ser taxado como algo oposto ao conhecimento genuíno, pois é, na verdade, ele é constitutivo do processo de construção do conhecimento.

Bachelard propõe uma racionalidade, de certa forma, polêmica, pluralista que deve emergir *da discussão e não da simpatia* (2009). Percebe-se, então, um modelo distinto da racionalidade tradicional, que é coerciva, conformada. Tal contraponto pode ser encarado uma contribuição pedagógica, justamente porque transcende à questão do ensino e das ciências e se coloca como problemática para todos os campos do conhecimento. A proposta deste outro modelo de razão, essencialmente histórica, de uma história que não tem começo nem fim, é a própria negação da perspectiva que tenta nos fazer apenas expectadores de uma natureza e de uma sociedade de fatos dados e prontos, isentos de senso crítico, a serem coletados e interpretados, permitindo o resgate do nosso papel de atores na construção do mundo (LOPES, 1996).

CAPÍTULO 2 – ASPECTOS HISTÓRICOS DO CONCEITO DE ESPAÇO

2.1 A concepção aristotélica de espaço: gênese e críticas

A noção de espaço, apesar de possuir origem incerta, é tida como tão antiga, quanto o ato de efetuar as operações aritméticas mais básicas, como somar e subtrair; o que remota a antiga babilônia (algo por volta do século IV a.C.). Estudos arqueológicos mostram que a noção de espacialidade era utilizada por membros de tribos para identificar os seus grupos, ou seja, se duas pessoas pertencessem a mesma tribo, então elas estariam (ou melhor: elas comporiam) o mesmo “espaço”. Além dessa relação com o coletivo, a noção espacial tinha também um forte vínculo com qualidades psicológicas, relativas a emoções, e também com o clima. A astrologia antiga, por exemplo, atribuía ao “espaço celeste” o motivo pelo qual dados fenômenos, bons ou ruins, aconteciam na Terra. É interessante lembrar que, nestas sociedades, o ato de contar era dependente do objeto que era contado, de modo que, à dois camelos atribuía-se uma representação de quantidade diferente da que era atribuída à dois cavalos. Tanto a noção espacial quanto a de contagem, ganharam considerável racionalidade (e, conseqüentemente, abstração) quando se deu início as atividades de mensuração.

Na filosofia grega, o espaço também foi objeto de estudo desde as primeiras escolas, como a pitagórica, em que se atribuía espacialidade aos números, de modo que os vazios espaciais eram necessários para garantir o caráter discreto dos números individuais na geometrização (pitagórica) do número. De certa forma, para esta escola, o espaço não tinha uma significação física além de servir como agente que delimita corpos diferentes; de modo que podia ser concebido como sinônimo de matéria. Árquitas foi um dos poucos alunos pitagóricos, segundo os registros, que se dedicou a buscar uma definição mais precisa de espaço. Para ele, havia uma distinção entre lugar

(que era tido como espaço) e matéria, uma vez que todo corpo ocupa um lugar e só podia existir se esse lugar existisse. Segundo essa concepção, uma propriedade característica do espaço é que todas as coisas estão nele, porém ele nunca está em uma coisa; o que o cerca é o vazio infinito. Como propriedade física, o espaço estabelece limites ou fronteiras para corpos que estão nele; portanto, impossibilita a existência de objetos infinitamente grandes. Esta noção teve forte influência na concepção aristotélica de espaço, em especial devido a sua propriedade física de continente.

A escola atomista, protagonizada por Demócrito (460 a.C. – 370 a.C.), elaborou também uma importante concepção de espaço, a qual concebe o espaço como uma extensão vazia sem influência sobre o movimento de matéria. O espaço era complementar à matéria e limitado por ela. Matéria e espaço eram mutuamente excludentes. Vazio (*kenon*) era frequentemente utilizado como sinônimo de espaçonão ocupado (expressão que, segundo a concepção, pode soar de forma redundante, uma vez que, se é espaço, já não está ocupado; no entanto, essa expressão aparece em (JAMMER, 2010)).

Platão (427 a.C.- 348 a.C.) foi um relevante filósofo que também buscou descrever os fenômenos naturais. Segundo a sua concepção, a matéria é reduzida ao espaço e a física à geometria, uma vez que as propriedades físicas são regidas pela disposição espacial dos constituintes materiais. O espaço “platônico” acaba sendo sinônimo de tridimensionalidade (o que pode ter influenciado na nomenclatura da dita “geometria espacial”). A física, portanto, transfigura-se como geometria, tal como se transfigurara em aritmética para os pitagóricos. A anisotropia é uma característica no espaço (puramente geométrico) em Platão. Em suma, na ótica platônica, a matéria é reduzida ao espaço, a física a geometria (JAMMER, 2010).

Por volta do século I a.C., foi publicada uma obra intitulada *De rerum natura* (sobre a natureza das coisas) por Tito Lucrécio Caro (99 a.C. – 55 a.C.), na qual é exposta, na forma de poema didático, a física atômica de Demócrito e a filosofia moral de Epicuro (341 a.C. – 270 a.C.). Nesta obra, há um trecho que sintetiza uma concepção de espaço: “Portanto, toda a natureza, tal como existe, repousa em duas coisas: existem corpos e existe o vazio em que esses

corpos são colocados e no qual se movimentam.” Percebe-se que, de acordo com Lucrécio, os corpos situam-se no espaço, que é tido como sinônimo de vazio, uma espécie de receptáculo infinito de corpos. Este filósofo e poeta ainda lançou um interessante argumento para verificar se o universo é ou não infinito. O seu raciocínio foi o seguinte: *suponhamos que o universo seja limitado e que um homem vá até a sua fronteira externa; caso este homem lance um dardo, este voará para longe ou algo bloqueará o seu movimento?* Como é impossível dar uma resposta precisa a esta indagação, não há outra alternativa senão conceber que o universo (e o espaço) se estende infinitamente.

De acordo com Epicuro de Samos (século III a.C.), o espaço tinha uma direção privilegiada (a vertical), que era a direção na qual todos os objetos se moviam. Esta ideia de espaço como isotrópico, posteriormente, foi concebida por toda a escola atomista. Além da direção privilegiada, o espaço é tido como homogêneo. Aqui, não há uma afirmação categórica a respeito de o espaço ser infinito ou não. No entanto, no mesmo período, o filósofo grego Geórgias de Leontini teceu uma descrição do espaço com as referidas características atomistas, com a diferença de que ele propôs um argumento contra a infinitude do espaço. A sua ideia, em síntese, diz o seguinte: se o espaço fosse infinito, não estaria em nenhum lugar; pois, se estivesse em algum lugar, aquilo em que estaria seria diferente dele e, portanto, este espaço contido deixaria de ser infinito, uma vez que seria limitado (ou, nos seus dizeres, seria “abarcado”).

Com as considerações acima, percebe-se que a ideia de espaço esteve presente nas filosofias desde as mais remotas. E, como pode-se ver, as noções não são nem um pouco triviais, uma vez que envolvem não somente o espaço como localidade, mas como um ente portador de propriedades que descrevem o universo. A ideia também teve influências dogmáticas e culturais da época, o que deu uma carga de complexidade e imprecisão ainda maior para o conceito. Sobre a ciência na antiguidade, certamente é difícil dizer com propriedade quem foi o filósofo cuja obra teve maior importância para desenvolvimentos posteriores; todavia, o trabalho de Aristóteles (384 a.C. -322 a.C.) foi um dos que mais exerceu influência em grande partados ramos das

ciências. Com respeito ao conceito de espaço, Aristóteles não manteve posição neutra.

Na sua obra “*Categorias*”, espaço pertence a categoria de quantidade; é uma quantidade contínua. Em geral, o espaço é aqui descrito como a soma de todos os lugares ocupados. No que diz respeito a ideia de lugar, Aristóteles é claro e direto: *lugar é a fronteira adjacente do corpo continente*. Para maior clareza, é importante destacar as quatro proposições primárias sobre o conceito de espaço:

(1) O lugar de uma coisa não é a coisa, não é parte da coisa em si, mas aquilo que o abarca; (2) o lugar imediato ou “apropriado” de uma coisa não é menor nem maior do que a coisa; (3) o lugar em que a coisa está pode ser abandonado por ela e, portanto, é separável dela; por último, (4) todo e qualquer lugar implica e envolve os correlatos “acima” e “abaixo”, e as substâncias elementares têm uma tendência natural a se mover para seus lugares próprios, ou a repousar neles quando neles se encontram – e tal movimento é “para cima” e “para baixo”, e tal repouso é “acima” ou “abaixo”. (ARISTÓTELES, apud JAMMER, 2010).

Com estas palavras, Aristóteles deixa clara a relação íntima entre espaço e a mecânica do movimento “natural”. Enfatiza-se que, nesta definição aristotélica, o espaço é parte do corpo continente, “recipiente”, não do contido. Posteriormente, na obra “*Física*”, Aristóteles tece significativas discussões:

“Além disso, as tendências dos elementos físicos (fogo, terra, e os demais) mostram não apenas que a localidade ou lugar é uma realidade, mas também que exerce uma influência ativa; é que o fogo e a terra são carregados, um para cima e outro para baixo, se não forem impedidos, cada qual para seu próprio “lugar”, e esses termos – refiro-me a “para cima” e “para baixo” (ibid).

Mais uma vez, fica evidente a influência do lugar na dinâmica dos corpos. Outra característica que Aristóteles insiste é no fato de que o corpo continente tem de estar em contato com todos os pontos da superfície que limita o corpo contido, o que contraria a doutrina pitagórica dos vazios espaciais. Aliás, sobre “vazios”, frisa-se que o vácuo é aqui entendido como a ausência de todas as propriedades concebíveis e não pode, por definição, conter uma diferenciação direcional. Aristóteles explorou essa ideia para refutar o vácuo.

Em geral, pode-se dizer que o espaço aristotélico é formado de partes (lugares) qualitativamente diferenciadas. E, por conseguinte, radicalmente distinto do espaço neutro que será característico da ciência moderna, que, conforme será discutido nas seções seguintes, é completamente abstraído da variedade das existências concretas e, assim, concebido como uma homogeneidade abstrata, representável por conceitos geométricos (Porto, 2009). O filósofo Ernst Cassirer (2001) tomou o universo aristotélico como objeto de estudo e, com respeito as noções de lugar e espaço, ele coloca que:

Os lugares têm sua natureza e sua singularidade da mesma forma que os corpos as têm, ou de modo análogo. E, entre essas duas naturezas, existe uma relação absolutamente determinada de comunhão ou repulsão, de simpatia ou antipatia. De forma alguma o corpo é indiferente ao lugar em que se encontra e no qual está contido; ao contrário: o corpo guarda com o lugar uma relação de causalidade real. Cada elemento físico procura o “seu” lugar, o lugar que lhe pertence e que lhe corresponde, e foge de um outro lugar que se lhe opõe. Assim o lugar- relativamente a certos elementos – parece dotado de forças, mas não daquelas forças que poderíamos definir como de atração ou de repulsão no sentido da mecânica moderna. (CASSIER, 2001. grifo nosso)

Lugar do corpo é, então, no primeiro sentido, os limites da coisa contida nele, deve, portanto, possuir as mesmas três dimensões espaciais dessa coisa: longitude, altura e profundidade. Embora os limites do lugar e da coisa contida serem os mesmos, enfatiza-se: a coisa está contida no lugar, mas o lugar não está contido na coisa. Assim, onde existe um corpo poderá, em outro momento, haver outro, por substituição. Tal substituição dos corpos, em momentos distintos, ocorre por haver movimento dos corpos com relação ao lugar. Apesar de o corpo e de o lugar possuírem as mesmas dimensões, o corpo pode estar em movimento enquanto que o lugar não (RICARDO, 2012). Em linhas gerais, foi dessa forma que Aristóteles concebeu o espaço físico.

2.2 A noção euclidiana de espaço

Na seção precedente, foi feito um apanhado geral a respeito da noção de espaço físico presente nas teorias de alguns filósofos da antiguidade. A apresentação começou nas origens e teve centralidade na concepção aristotélica, por motivos já justificados. Uma abordagem com viés diferente da de Aristóteles, e com semelhante repercussão, senão maior, foi utilizada por Euclides de Alexandria, um matemático grego que viveu no século III a.C. Dada a importância que tal abordagem teve na história da ciência, esta seção terá como intento tecer as principais características do dito “espaço euclidiano”, decorrente de sua obra na geometria.

Euclides viveu no litoral sul do mar Mediterrâneo, por volta de 300 a.C., em Alexandria. Lá, ele desenvolveu uma abordagem que deu uma nova forma a filosofia e definiu a natureza da matemática por mais de dois mil anos. Sua obra integrou a educação superior durante a maior parte do tempo, e continua sendo assim até hoje. A redescoberta da sua obra foi, certamente, uma chave para a renovação da civilização europeia na Idade Média. Apesar de os indícios históricos a respeito de detalhes de sua biografia serem precários e insuficientes, sabe-se que ele escreveu, pelo menos, dois livros (HEATH, 1981). Um deles é sobre cônicas – o estudo de curvas geradas pela interseção de um plano e um cone – e teve uma influência marcante no desenvolvimento nas ciências da navegação e na astronomia.

A sua segunda obra, intitulada “Os *elementos*”, teve magnitude de impacto cultural comparável com a bíblia, e é composta por treze rolos de pergaminhos (*idib*). A principal contribuição desta obra para a história da ciência (e de todo o conhecimento) reside no seu método lógico inovador: primeiro, tornar explícitos os termos, formulando definições relativamente precisas e garantindo, desta forma, a compreensão mútua de todas as palavras e símbolos. Na sequência, o modo pelo qual a obra foi desenvolvida tornam explícitos os conceitos, apresentando de forma clara os axiomas ou postulados (tais termos são intercambiáveis), de modo que, não possam ser usados entendimentos ou pressuposições não declarados. Por fim, deduzir as consequências lógicas do sistema empregando somente por regras de lógica aceitas, aplicadas aos axiomas e aos teoremas previamente demonstrados (MLODINOW, 2010).

Desta forma, Euclides objetivou que o seu sistema fosse livre de suposições não reconhecidas, baseadas na intuição e na exatidão. Ele formulou 23 definições, cinco postulados geométricos e cinco postulados adicionais que chamou de “noções comuns” (GRAY, 1989). Com base nisso, ele demonstrou 465 teoremas, que corresponde, essencialmente, a todo o conhecimento geométrico de seu tempo. Dentre tais definições, incluíam *ponto*, *linha* (que, na sua definição, poderia ser uma curva) *linha reta*, *círculo*, *ângulo reto*, *superfície* e *plano*.

Em geral, as definições foram bastante precisas; por exemplo, linhas paralelas são “*linhas retas que, estando no mesmo plano e sendo prolongadas indefinidamente em ambas as direções, não se encontram uma com a outra, em nenhuma direção*” (MLODINOW, 2010). Um círculo euclidiano é “*uma figura plana contida por uma linha, [isto é, uma curva] tal que todas as linhas retas que vão até ela de um certo ponto de dentro do círculo [chamado de centro] são iguais entre si*” (*Ibidem*). Outras definições são, de certa forma, vagas e, no mínimo estranhas, como ponto (“*aquilo que não tem parte*”) e reta (“*aquela que tem todos os pontos colocados de forma uniforme sobre ela*”).

No geral, o conteúdo geométrico do fundamento da geometria de Euclides reside nos seus cinco postulados. Os quatro primeiros são simples e podem ser assim enunciados, em termos modernos:

1. *Dados quaisquer dois pontos, pode ser traçada uma linha tendo estes pontos como suas extremidades.*
2. *Qualquer linha pode ser prolongada indefinidamente em qualquer direção.*
3. *Dado qualquer ponto, pode ser desenhado um círculo com qualquer raio, com aquele ponto no centro.*
4. *Todos os ângulos retos são iguais.* (EUCLIDES, 2009).

Percebe-se que são sentenças simples e, ao mesmo tempo, significativas. As duas primeiras concordam, de imediato, com a experiência, pois não parece existir algo no espaço que impeça o deslocamento de um ponto ou uma reta, quando desenhados. O terceiro postulado carrega uma sutileza, pois parte dele assume que a distância no espaço é definida, de tal modo que, o comprimento de uma linha não se altera quando a mudamos de um lugar para outro ao traçar um círculo. Já o quarto postulado garante que uma reta sempre manterá a sua direção no decorrer de seu prolongamento, pois, ao ser cortada, perpendicularmente por outra, sabe-se que os ângulos internos e externo serão iguais. É, de certa forma, uma condição de retidão (MLODINOW, 2010).

O quinto postulado de Euclides, também conhecido como *postulado das paralelas* (BRAZ, 2009), não fazia parte do grande corpo de conhecimentos que ele estava resumindo, é, portanto, invenção dele próprio.

5. *Dada uma reta que cruze duas linhas retas de modo que a soma dos ângulos internos do mesmo lado seja menor do que dois ângulos retos, então as duas linhas, quando prolongadas, acabarão por se encontrar (naquele lado da linha)* (EUCLIDES, 2009).

O significado geométrico desse postulado é claro: é um “teste” para decidir se duas linhas estão convergindo, divergindo ou são paralelas. Para cada reta, situada no plano ou no espaço, existe uma, e somente uma, reta paralela a esta, que passa por um ponto externo predeterminado. Entende-se que existem duas formas de violar este postulado: ou as retas paralelas não existem, ou, existe mais de uma reta paralela que passa por um ponto externo.

A afirmação contida nesse postulado foi tomada como verdadeira por quase dois mil anos, mesmo não podendo ser verificada logicamente, como os demais. Conforme será discutido nas seções posteriores, o questionamento e a demonstração da invalidez desse postulado causaram uma profunda mudança, pelo modo segundo o qual o espaço é concebido.

Euclides também deixou discípulos que trouxeram contribuições significativas para o conhecimento científico referente ao espaço e a noção de cosmo. A maioria deles trabalhou, naquele que ficou conhecido como o maior centro de pesquisa científica e cultura da antiguidade: *a biblioteca de Alexandria*. Este local consistia em, como o seu nome sugere, uma biblioteca que reunia a grande maioria do conhecimento, referente a matemática e a ciências, produzidos até então; e também em um espaço onde os principais intelectuais da Europa e das proximidades discutiam suas ideias referentes a espaço e universo, buscando aperfeiçoá-las. Dentre os cientistas que lá trabalharam, destacam-se:

- *Erastótenes* (276 a.C. – 194 a.C.): trabalhou como bibliotecário. No entanto, contribuiu significativamente para o conhecimento científico da época, uma vez que desenvolveu um método para calcular a medida do comprimento da circunferência da Terra, que difere apenas 4% do valor que atualmente é aceito.
- *Aristarco* (310 a.C. – 230 a.C.): exerceu atividades de astrônomo em Alexandria. Com base em observações (a olho nu) e trigonometria, ele calculou, com razoável aproximação, o tamanho da Lua e a sua distância da Terra.
- *Arquimedes* (287 a.C. - 212 a.C.): famoso por criar o “método da alavanca”, também possibilitou avanços na engenharia e na física

com o princípio da flutuação. Ele desenvolveu um ferramental matemático que, aliado com a geometria, só foi superado pelo método cartesiano, dezoito séculos mais tarde.

Por razões políticas e ideológicas, por volta de 660 a.C., Alexandria foi tomada por um grupo que não valorizava a cultura e a pesquisa científica; conseqüentemente, a sua biblioteca foi queimada, de modo que a grande maioria do conhecimento produzido ali foi completamente perdido. Além disso, engajou-se uma cultura dogmática, que não possibilitou que novos cientistas pudessem trabalhar e desenvolver suas ideias.

2.3 Concepções racionalistas para o espaço

Descreve-se, nesta seção, noções ditas “racionalistas” (no sentido proposto por Bachelard (2009)). No intuito de tornar a discussão mais clara, tal descrição gira em torno das teorias de dois protagonistas: *Descartes* e *Newton*.

- *René Descartes* (1596-1650)

Apesar de ter sido advogado de formação, foi um filósofo que produziu trabalhos significativos na matemática, na física e na filosofia. Especificamente, no que se refere ao espaço físico e geométrico, a sua concepção foi inovadora: Descartes uniu a álgebra com a geometria (KLINE, 1990). Em outras palavras, ele elaborou uma forma de expressar algebricamente as figuras geométricas. A título de ilustração, segue a definição de circunferência para Euclides e para Descartes.

- ✓ *Euclides*: um círculo é uma figura plana contida por uma linha [isto é, uma curva] tal que, todas as linhas retas vão até ela de um certo ponto de dentro do círculo – chamado de centro – cuja distância são iguais entre si.
- ✓ *Descartes*: um círculo é todo “ x ” e “ y ” que satisfaça a equação $x^2+y^2=r^2$, para algum número constante “ r ” (MLODINOW, 2010).

Percebe-se uma simplicidade maior na representação cartesiana de geometria. O relevante nesta concepção de espaço não é a interpretação da

equação, mas meramente que, no método de Descartes, o círculo (assim como todas as formas geométricas conhecidas) são definidos por uma equação. Desta forma, Descartes traduziu o espaço em números e, conseqüentemente, possibilitou uma descrição da geometria em termos da álgebra. Para tal, criou o plano cartesiano, cuja descrição, neste espaço, se faz desnecessária por se tratar de algo elementar em matemática.

Apesar de o mérito da elaboração dessa representação segundo as coordenadas cartesianas serem atribuídas normalmente a Descartes, sabe-se que Pierre de Fermat (1601-1655) desenvolveu um instrumento de análise muito próximo, praticamente na mesma época (KLINE, 1990). Além disso, o uso de coordenadas já havia sido feito por Ptolomeu, no século II, no entanto, para fins puramente cartográficos, ou seja, a sua análise limitava-se em representar o globo terrestre (WILFORD, 2001). O avanço real na ideia de coordenadas não veio na própria ideia de coordenadas de Descartes, mas do uso feito delas, que foi, enfatiza-se, *“representar formas geométricas utilizando linguagem algébrica”*.

Trezentos anos antes de Descartes, Nicolas de Oresme (1323 – 1382) também tinha percebido que as curvas podiam ser definidas pelas relações entre as coordenadas, e também obteve um tipo de equação para uma reta (a saber, para Descartes, uma reta é representada pela equação $ax+by+c=0$). No entanto, tal representação não teve uma notação inteligível (MLODINOW, 2010). O método de Descartes de associar a álgebra com a geometria equivale a uma generalização das ideias de Oresme, de modo que todas as curvas da matemática grega podiam ser descritas, agora, do modo simples e conciso que a álgebra proporciona.

Descartes utilizou sua percepção geométrica para fazer um trabalho significativo em muitas áreas da Física. Ele foi um dos primeiros a formular a “lei da refração da luz” na sua forma trigonométrica (embora tivesse diferenças da atual formulação); também foi um dos primeiros a explicar, de forma coerente, o fenômeno que ocorre na “formação do arco-íris”. Seus métodos geométricos foram tão importantes para suas percepções, que ele escreveu: “minha física toda nada mais é, do que geometria”(VROOMAN, 1970).

- *Isaac Newton (1642-1727) e alguns críticos*

Em um “escólio” de uma de suas mais famosas obras, “*Principia*”, Newton é categórico ao definir “*espaço*” e “*lugar*”.

II – O espaço absoluto, em sua própria natureza, sem relação com qualquer coisa externa, permanece sempre similar e imóvel. Espaço relativo é alguma dimensão ou medida móvel dos espaços absolutos, a qual nossos sentidos determinam por sua posição com relação aos corpos, e é comumente tomada por espaço imóvel; assim é a dimensão de um espaço subterrâneo, aéreo ou celeste, determinado pela sua posição com relação a terra. Espaços absoluto e relativo são os mesmos em configuração e magnitude, mas não permanecem sempre numericamente iguais. Pois, por exemplo, se a terra se move, um espaço de nosso ar, o qual relativamente a terra permanece sempre o mesmo, será em algum momento parte do mesmo, e assim, com certeza, estará continuamente mudando (NEWTON, 1990).

III – Lugar é uma parte do espaço que o corpo ocupa, e de acordo com o espaço, é ou absoluto ou relativo. Digo parte do espaço, e não situação, nem superfície externa do corpo. Pois os lugares de sólidos iguais são sempre iguais, mas suas superfícies, em função de suas formas diferentes, são frequentemente desiguais. As posições propriamente não tem quantidade, e nem são os próprios lugares, mas antes propriedades dos lugares. O movimento do todo é o mesmo que as somas dos movimentos das partes; isto é, a translação do todo, de seu lugar, é a mesma que a soma das translações das partes para fora de seus lugares; e, portanto, o lugar do todo é o mesmo que a soma dos lugares das partes, e,

por esta razão, é interno e está em todo o corpo
(NEWTON, 1990).

De forma mais sucinta, segundo Newton, o espaço, a princípio, é “absoluto”, uma estrutura fixa sobre a qual são lançadas as coordenadas de Descartes. A existência completamente objetiva desse espaço absoluto se torna um elemento fundamental à consistência lógica da teoria newtoniana do movimento. Deste modo, a trajetória de um objeto é uma reta ou uma curva descrita por uma série de números, as coordenadas, que rotulam os pontos que o caminho cobre no espaço. A função do tempo é “parametrizar” o caminho, ou, de forma mais simples, “dizer onde o objeto se encontra”.

Esta concepção newtoniana de um espaço absoluto, cuja existência seria independente da matéria, sofreu severas críticas por parte dos filósofos Gottfried W. Leibniz(1646-1716) e George Berkeley (1665-1753). O ataque de Berkeley se dirigiu contra a introdução na ciência de ideias “vagas” e estranha às bases empíricas do conhecimento científico:

Imaginemos que todos os corpos tenham sido destruídos e reduzidos a nada: desse modo, daremos àquilo que resta, onde, juntamente com os corpos, fica suspensa toda a relação de situação e de distância entre eles, o nome de espaço absoluto. Este espaço é, então, infinito, imóvel, indivisível e não constitui objeto algum de percepção desde o momento em que cessou em relação a ele toda possibilidade de relação e de distinção. Todos os atributos são, ditos em outras palavras, privativos ou negativos; não parece significar, portanto, mais do que o simples nada. A única dificuldade estriba em que é algo extenso e que a extensão representa, apesar de tudo, uma qualidade positiva. Porém, que classe de extensão é esta que não se pode medir e nem dividir e na qual não há uma só parte que não se possa perceber por meio dos sentidos ou captar-se por meio da representação? Se examinarmos a fundo semelhante ideia – supondo que

podemos chamá-la assim – vemos que é a mais perfeita representação do nada que podemos imaginar. (BERKELEY apud PORTO, 2008).

De modo mais preciso, a crítica de Berkeley pôs em relevo uma incoerência epistemológica presente no âmago da mecânica de Newton: um dos princípios da ciência newtoniana é a inferência das leis da Natureza a partir do sensível, das experiências, que determinam os limites dentro dos quais se estabelece o conhecimento científico. Todavia, a sua teoria se apoiava na existência de um espaço absoluto, independente da matéria e anterior à experiência, deste modo, não perceptível nem verificável por seu intermédio.

Pode-se dizer que o empirismo newtoniano fundamentava-se em um elemento situado além da realidade sensível, e, por conseguinte, metafísico. (CASSIRER, 2000)

Apesar das críticas de cunho filosófico, a concepção newtoniana de espaço absoluto paulatinamente se consolidou na física clássica. Em sua obra *Reflexões sobre o Espaço e o Tempo*, Leonard Euler (1707-1783) defende a necessidade da existência de um espaço absoluto como um elemento indispensável à determinação do movimento:

Deve-se antes concluir que tanto o espaço absoluto quanto o tempo, tal como os matemáticos os representam, são coisas reais, que subsistem mesmo fora de nossa imaginação. (EULER apud JAMMER, 1993)

O espaço e o tempo absolutos conquistaram, assim, status em razão da função lógica que desempenharam na física newtoniana. De forma geral, ambos os conceitos encerram uma verdade inegável, não porque lhes dêem crédito às nossas sensações, mas por algo muito mais importante: porque são indispensáveis para a totalidade de nossa concepção científica de mundo. (CASSIRER, 200)

Por fim, julga-se de importância colocar que, ao discutir a sua teoria de forma mais detalhada, Newton atribui um papel mais relevante ao espaço, de acordo com as leis que explicam o movimento e suas causas. Albert Einstein

(1879-1955) descreveu isso de forma bem clara, ao colocar que “o espaço de ter sido instituído como a causa independente do comportamento inercial dos corpos”. Além disso, a sua leitura acerca do espaço absoluto, tomando-se a teoria newtoniana como um todo, também é bastante esclarecedora:

Esse papel é absoluto no sentido de que o espaço (como sistema inercial) atua sobre todos os objetos materiais, ao passo que estes não exercem nenhuma ação sobre o espaço (EINSTEIN, 1938).

2.4A gênese do espaço curvo

O alemão Carl Friedrich Gauss (1777-1855) de reputação ímpar (DUNNINGTON, 1955). O seu trabalho teve influências em muitas áreas da ciência, da física a cartografia, além de propor inovações profundas na matemática. No tocante a ideia de espaço, seu primeiro contato, ao que indica seus dados bibliográficos, foi ainda na adolescência, quando leu pela primeira vez “Os *elementos*”, de Euclides. O quinto postulado lhe causou incômodo, muito provavelmente pelo fato de não possuir o mesmo grau de “evidência” que os restantes, e também por ser tomado, há muito tempo, como dogma. Tais especulações reforçaram as evidências de que uma noção inovadora de espaço seria necessária (BOYER, 2003).

Com os resultados de seu trabalho, Gauss (concomitante com o de János Bolyai (1802-1860) e Nicolai Lobachevsky (1792-1856)) desenvolveu a noção de espaço hiperbólico – o espaço que resulta substituindo-se o postulado das paralelas pela suposição de que, para qualquer reta, não existe apenas uma, mas muitas retas paralelas passando por qualquer ponto externo dado. Uma consequência direta dessa consideração é que a soma dos ângulos internos de um triângulo é um número inferior a 180° (Figura 4), que foi cunhado de *defeito angular*. Outra consequência, que também está diretamente relacionada com o defeito angular, é que os triângulos semelhantes não existem. No espaço hiperbólico, a forma euclidiana, tal como concebida (no plano, com forma congruentes e relacionadas por relações de

razão e proporção) não pode ser atingida, em análogo a impossibilidade de atingir a velocidade da luz na teoria da relatividade.

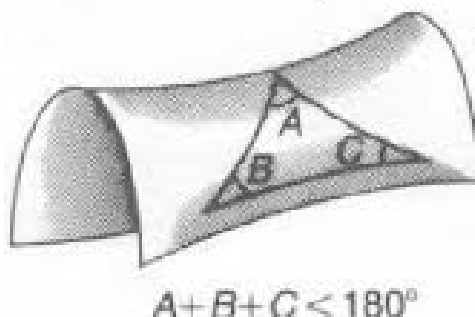


Figura 4 – Espaço hiperbólico

Henri Poincaré (1855-1912) deu uma visualização mais consistente para a noção de espaço hiperbólico. Segundo o seu modelo, o plano infinito euclidiano foi substituído por um disco infinito, mas infinitamente fino e com fronteira circular perfeita. Os “pontos” são análogos as posições já consideradas por Descartes. As “retas de Poincaré” são linhas curvas, definidas em termos mais técnicos como sendo “quaisquer arcos de círculos que cruzem a borda do disco em ângulos retos”. Obviamente, muitos conceitos geométricos clássicos tiveram de ser modificados para que esta nova noção de espaço tivesse coerência; por exemplo, a ideia de congruência que, para Euclides era definido como “coisas que coincidem umas com as outras são iguais entre si”. Tal noção devia ser modificada, uma vez que a habilidade de mover figuras no espaço sem distorção é garantida somente quando assume-se válido a forma euclidiana do postulado das paralelas. Desta forma, para Poincaré interpretar a ideia de congruência, ele definiu um sistema de medidas para comprimento e ângulo. Nesta nova concepção, ângulo entre duas retas foi entendido como sendo os ângulos entre suas linhas tangentes no ponto de intersecção. Para definir distância, Poincaré inseriu a consideração de que o espaço se comprime à medida que se aproxima do limite do universo; consideração que teve implicações profundas, uma vez que colide frontalmente com a noção euclidiana (diga-se de passagem: que também foi aceita por Descartes) de que a menor distância entre dois pontos é uma reta.

De um modo geral, para o espaço hiperbólico, o postulado das paralelas, em análogo com o espaço euclidiano, é assim enunciado:

Dada uma reta de Poincaré e um ponto externo a ela, há muitas outras retas de Poincaré que passam pelo ponto externo e que não interceptam a reta de Poincaré dada (KUBRUSLY, 2013).

Consequência direta dessa nova concepção foi a possibilidade de existência de retas paralelas cujo ângulo entre elas seja diferente de 180° . A figura seguinte ilustra essa ideia.

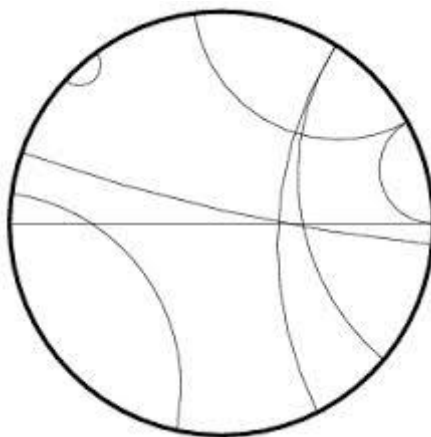


Figura 5 – retas paralelas no espaço hiperbólico.

Algumas décadas após o desenvolvimento da noção de espaço hiperbólico, outro tipo de espaço não-euclidiano foi criado: o espaço elíptico. Este espaço é obtido quando assume-se outra definição para reta: que as retas paralelas não existem (isto é, que todas as retas de um plano devem-se cruzar. Em duas dimensões, esse tipo de espaço era conhecido e estudado num contexto diferente pelos gregos, e até por Gauss; todavia, eles não perceberam a sua relevância como um novo modelo de espaço, no qual muitas propriedades geométricas se mostram consistentes (MLODINOW, 2010). Neste tipo de espaço, a soma dos ângulos internos de triângulos são maiores do que 180° (no espaço hiperbólico, são menores). Entretanto, para pequenas distâncias, as propriedades são muito próximas das que descrevem o espaço

euclidiano, motivo que justifica o fato de os desvios não serem trivialmente detectados.

As profundas mudanças, que a noção de espaço sofreu, geraram grandes influências em todas as áreas da matemática. Desde a época de Euclides até a época em que os trabalhos de Gauss e Georg Friedhard Bernhard Riemann (1826-1866) foram descobertos postumamente, a matemática era fundamentalmente pragmática (BOYER, 2003). A estrutura de Euclides era interpretada como descrevendo o espaço físico. A matemática era, de certa forma, uma ramificação da física. Questões sobre a consistência das teorias matemáticas pareciam discutíveis (a demonstração encontrava-se no mundo físico). Mas, por volta de 1900, os matemáticos tinham a opinião de que os axiomas eram afirmações arbitrárias, sendo apenas a base de um sistema cujas consequências deveriam ser investigadas. Os espaços matemáticos passaram a ser considerados como estruturas lógicas abstratas. A natureza do espaço físico tornou-se uma questão da física, não da matemática.

2.5 O espaço-tempo da teoria da relatividade

Em 1854, indagando sobre a natureza do espaço e de conceitos fundamentais em geometria, o matemático alemão George F. B. Riemann proferiu o seguinte comentário:

A questão da validade da geometria está relacionada com a questão da base interna das relações métricas [distância] do espaço. Nós devemos procurar a base de suas relações métricas fora dele, nas forças de ligação que agem nele(MONASTYRSKY, 1999).

Dezesseis anos mais tarde, em 1870, Willian Kingdon Clifford (1845-1879) publicou um artigo intitulado “Sobre a teoria especial da matéria”, no qual há também trechos que mostram a pertinência de uma nova e mais complexa teoria acerca o espaço físico.

Na verdade, eu mantenho que: (1) as pequenas porções do espaço são de uma natureza análoga aos pequenos

montes numa superfície que é, na média, plana; (2) a propriedade de ser curvo ou distorcido é transmitida continuamente de uma porção de espaço para outra, como uma onda; (3) esta variação da curvatura do espaço é realmente o que acontece naquele fenômeno que chamamos de movimento da matéria. (Ibidem).

Um breve comentário sobre a ideia de gravitação se faz necessário antes de expor o papel do espaço na teoria de Einstein, dado que grande parte do seu trabalho teve o intuito de desenvolver uma nova teoria de gravitação. O caráter universal da força gravitacional proporcionou, no século XX, a primeira grande modificação da teoria de Newton, produzida pelo físico alemão Albert Einstein. Com efeito, pode-se constatar que todo corpo é atraído por outro corpo qualquer, independentemente de suas constituições químicas. Não há forma de matéria e/ou energia imune a ação dessa força. Tudo que existe, sofre a interação gravitacional. Um famoso físico e divulgador da ciência brasileiro cunhou a expressão “*Caio, logo existo!*” para se referir a esse caráter universal da gravitação (NOVELLO, 2005).

De certa forma, significa que não há qualquer corpo material ou forma de energia que esteja isenta da interação gravitacional. Toda matéria, todo corpo, toda partícula, elementar ou não, toda forma de energia possui interação gravitacional. Essa propriedade é única, pois a outra força de longo alcance conhecida – a força eletromagnética – não a possui; dado que existem corpos materiais compostos ou elementares – como a partícula chamada “neutrino” – que podem passar incólumes por uma região onde exista um campo eletromagnético, sem que sejam, de alguma forma, influenciados por ele; ou seja, esses corpos não possuem interação eletromagnética.

Foi justamente o caráter universal da força gravitacional que permitiu pensá-la como uma força completamente distinta de todas as outras conhecidas pelos físicos. Tudo que existe “sente” a ação de um campo de força gravitacional, não seria possível – perguntou-se Einstein – substituir sua descrição por algum tipo de fenômeno associado à natureza do substrato único que permeia toda matéria e energia, que está em contato íntimo com toda

matéria e energia existentes, ou seja, o contínuo espaço-tempo? (NOVELLO, 2010).

A partir daí, Einstein introduziu outro conceito, argumentando que a força gravitacional poderia ser identificada à estrutura da geometria do espaço-tempo. Por conseguinte, foi levado a modificar a teoria então vigente, argumentando que a dinâmica newtoniana é somente uma teoria aproximada, capaz de descrever os fenômenos apenas em campos de baixa intensidade. A nova dinâmica requeria uma relação entre a geometria e o conteúdo material/energético existente na região onde se passa a interação gravitacional.

Em 1905, foi criada a “Teoria da Relatividade Especial” que, de certa forma, unificou a descrição da física, ao fundir o espaço tridimensional ao tempo, e formar uma nova estrutura chamada “espaço-tempo”. A geometria desse espaço-tempo consiste em uma configuração rígida, imóvel, capaz de servir de arena ou pano de fundo para todos os fenômenos e processos físicos (EINSTEIN, 1938).

Na “Teoria da Relatividade Geral”, apresentada ao mundo em 1915, Einstein foi muito além e sugeriu que a força gravitacional poderia ser descrita como uma modificação efetiva da geometria do espaço-tempo. As equações dessa teoria relacionam o modo pelo qual dada distribuição de matéria ou de energia, de qualquer forma, determina a geometria do espaço-tempo.

O aspecto espacial das coisas reais é então completamente representado por um campo, que depende de quatro parâmetros coordenados; é uma qualidade desse campo. Se pensarmos no campo sendo movido, não há espaço que permaneça, uma vez que o espaço não possui uma existência independente.
(EINSTEIN, 1938)

2.6O princípio de Mach

O movimento absoluto, fundamentado na ideia de espaço absoluto foi duramente criticado pelo filósofo austríaco Ernst Mach (1838-1916). Em sua obra *“As origens da Mecânica”*, Mach apresentou a hipótese de que toda a determinação do movimento deve ser feita em relação a corpos existentes (MACH, 1960). De forma geral, Mach não concebeu a noção presente na mecânica newtoniana de que a distinção entre duas categorias de observadores, inerciais e não-inerciais, poderia se fundar no fato de ambos se moverem (os segundos com aceleração) em relação ao espaço absoluto. A sua proposta foi a de que o caráter inercial (uniforme) ou não (acelerado) se definisse, não em relação a um espaço absoluto, inalcançável pela percepção direta, mas em relação a um referencial associado ao centro de massa de todas as partículas materiais existentes no universo. Tal pensamento foi cunhado como *Princípio de Mach*.

Percebe-se, então, que para que a teoria da gravitação de Einstein fosse compatível com tal princípio, seria necessário que a forma dos movimentos inerciais dos corpos, ou, de outra forma, as geodésicas, e, para tanto, a geometria do espaço-tempo, fosse determinada única e exclusivamente pela distribuição de massa e de energia presentes no universo, quantidade matemática chamada tensor energia-momento. Como as equações de Einstein para o campo gravitacional possuem sempre solução, mesmo para na ausência de energia e matéria, não houve conciliação entre a teoria da relatividade geral e o Princípio de Mach. Einstein adicionou um termo às suas equações, chamado de constante cosmológica, para que atendesse ao princípio; entretanto, o resultado não foi satisfatório (PORTO, 2008).

CAPÍTULO 3 - UM ESTUDO EMPÍRICO ACERCA DO CONCEITO DE ESPAÇO

Neste capítulo, será descrita a metodologia da pesquisa empírica realizada neste trabalho. O objetivo central foi investigar, segundo o referencial epistemológico de Gaston Bachelard, como os futuros docentes entendem e lidam com o conceito de espaço de acordo com a concepção que eles trazem consigo. Para isso, trabalhamos com um grupo de alunos do curso de licenciatura em Física, da Universidade Estadual Paulista, Unesp, Campus de Presidente Prudente.

Acompanhamos, ao longo de um semestre, a disciplina de Estágio Supervisionado II, que é uma disciplina fundamentalmente destinada a formação destes licenciandos. Tal disciplina é oferecida no quarto e último ano do curso e coloca os alunos em contato direto com a atividade docente, fatores que incentivaram ainda mais em escolher esse grupo para compor o objeto de investigação. Apesar de a disciplina ter duração de um ano, a coleta de dados foi realizada apenas durante o primeiro semestre de 2013; no entanto, consideramos esse período suficiente para poder estudar o perfil epistemológico destes alunos.

O pesquisador esteve presente em todos os encontros, junto com o professor responsável pela disciplina, realizando seu “estágio-docência” e, investigando e analisando os sujeitos da pesquisa. A amostra foi composta inicialmente de seis (6) alunos (todos devidamente matriculados na disciplina de Estágio Supervisionado II). Esses alunos responderam ao questionário inicial, porém, como um dos alunos trancou a matrícula, nas demais etapas da pesquisa tivemos cinco (5) alunos investigados. As atividades de coleta de dados foram feitas por todos os alunos; todavia, para algumas análises, enfocou-se nos dados referentes aos dados mais significativos para a pesquisa, no intuito de contrastar as visões mais divergentes a fim de que a análise, segundo o referencial teórico adotado, fosse mais fecunda e profícua.

A pesquisa deu-se em três etapas que serão descritas a seguir: (i) *levantamento das concepções iniciais dos alunos do conceito de “espaço”* (por meio de questões fechadas e abertas); (ii) *análise das “crônicas de aula” apresentadas pelos alunos sobre o tema “espaço”* e; finalmente, (iii) *entrevistas e levantamento dos perfis epistemológicos referentes ao conceito de “espaço”* (traçados pelo próprio sujeito).

A estrutura do trabalho, de um modo geral, teve como principal referência (no tocante a metodologia) o trabalho realizado por Martins (2004), no qual investigou compreensão do conceito de tempo em estudantes do ensino médio, à luz da epistemologia bachelardiana.

3.1 Levantamento de concepções iniciais

A disciplina de Estágio Supervisionado II (em Física) tem como objetivo principal a formação de futuros professores para atuar, depois de concluído o curso, no ensino médio. Como atividade da própria disciplina priorizou-se trabalhar especificamente com os alunos o conceito de “espaço”, que é um tema relevante da Física e para utilizá-lo como o foco da pesquisa durante o estágio-docência realizado pelo pesquisador.

Logo no início da disciplina foi anunciado que seriam realizadas atividades de ensino envolvendo este conceito (“espaço”). Na intenção de identificar as concepções iniciais dos graduandos a respeito desse conceito, aplicou-se um questionário composto de questões abertas e fechadas (que encontram-se nos Anexos). Sobre o instrumento de coleta de dados, Tozoni-Reis (2007) considera o questionário é um instrumento com grau máximo de estruturação para uma entrevista e mostra-se, portanto, adequado para o diagnóstico de concepções no campo da educação ou do ensino.

As concepções iniciais dos estudantes foram evidenciadas por dois questionários distintos: o Questionário 1 (contendo uma (1) questão aberta e aplicada sem qualquer intervenção do pesquisador) e o Questionário 2 (contendo: duas (2) questões classificatórias [questões 2 e 3]; seis (6) questões no formato(sim/não) e; uma (1) questão aberta (para ser respondida no final)) -

aplicado após o pesquisador apresentar de maneira geral a diversidade do conceito de espaço e a noção do conceito de perfil epistemológico. Ambos podem ser vistos no Apêndice deste trabalho.

Inicialmente, após a aplicação do *Questionário 1* – que visava conhecer as concepções iniciais dos alunos -o pesquisador produziu uma apresentação – de aproximadamente quinze minutos - no programa aplicativo denominado “Power-Point”, tratando das diversas concepções que o conceito de espaço teve no decorrer do processo histórico, a fim de mostrar que o assunto não é tão simples, conforme é exposto nos livros didáticos. Ressalta-se que tal apresentação não tratou de forma aprofundada o tema, pois teve-se o cuidado de não interferir na concepção dos alunos; o seu caráter foi apenas motivacional para mostrar que o conceito de espaço é polisêmico, ou seja, assume diversos significados dependendo do contexto. O pesquisador também explicou, de forma geral, o que vem a ser um “perfil epistemológico”. Essa introdução inicial foi para que os alunos tivessem uma ideia geral a respeito do trabalho, que o autor da pesquisa estava desenvolvendo.

Após a aplicação deste instrumento de análise (o questionário inicial – *Questionário 1*) e das apresentações gerais sobre o propósito do trabalho, o pesquisador entregou aos alunos o *Questionário 2*. Este questionário continha algumas questões contendo algumas alternativas que os alunos pudessem classificar ou concordar/discordar (sim/não), além de uma questão aberta para ser respondida no final.

De posse dos dados e da leitura pormenorizada dos questionários, o pesquisador procedeu a interpretação dos resultados. A análise se deu segundo categorias baseadas nas doutrinas bachelardianas referente ao perfil epistemológico: *realismo ingênuo*, *empirismo*, *racionalismo simples*, *racionalismo completo* já descritos acima. O uso de categorias na análise de dados caracteriza-se com uma marca da pesquisa qualitativa – sugerida por vários autores, tais como Lüdke & André (1986) – e permite associar os dados coletados com as ideias do referencial teórico adotado, no caso específico: *Gaston Bachelard*. Tais categorias foram utilizadas como ferramentas de análise nas três etapas da pesquisa descritas aqui.

A análise dos dados iniciais se deu em duas etapas: inicialmente com as questões abertas, classificou-se dentro das categorias, buscando elementos característicos da análise e discutindo os principais excertos, que justificam o fato das respostas serem classificadas em suas respectivas categorias. O intuito aqui foi o de evidenciar um panorama geral acerca das concepções dos estudantes, tendo sempre como viés de análise as escolas filosóficas que compõem aquilo que Bachelard cunhou de perfil epistemológico (2009).

A análise seguiu a mesma linha metodológica para as questões fechadas: dividiu-se de modo quantitativo (utilizando análise percentual) as respostas de acordo com as categorias e foram colocadas algumas considerações, tendo como base o referencial epistemológico. A discussão se deu no intuito de descrever e justificar o modo pelo qual os resultados se distribuíram da forma com que estão colocados. Por motivos de melhor compatibilidade com o referencial teórico, analisou-se duas questões fechadas (2 e 3) – que são classificatórias, separadas das demais (4 a 8) cujas respostas consiste no aluno concordar (sim) ou discordar (não) do enunciado.

3.2 Crônicas de aula apresentadas pelos alunos

Um dos critérios de avaliação da disciplina, na qual essa pesquisa ocorreu, foi a apresentação de crônicas de aula, que é, basicamente, uma aula (ou parte de uma aula) elaborada pelos licenciandos como uma “espécie de treinamento” para a docência no ensino médio, de um assunto pré-determinado pelo professor do Estágio (no caso o conceito de espaço). A apresentação aconteceu em sala de aula, para o professor (responsável pela disciplina de estágio) e os colegas de sala.

Foi proposto aos alunos para que todos trabalhassem o conceito de espaço, ou seja, que todos preparassem sua aula sobre este tema. As apresentações foram gravadas (com autorização de todos), transcritas e analisadas. Objetivou-se, com isso, descrever a compreensão dos alunos acerca da ideia de espaço, e investigar o modo pelo qual os futuros licenciados iriam lidar com este conceito em sua atividade docente.

Para este momento da pesquisa, não foram sugeridas bibliografias ou estratégias específicas para a apresentação dos alunos. Foi dada total liberdade para que eles pudessem elaborar a crônica de aula, do modo que achassem mais adequado, para que, assim, pudessem se expressar sem entraves ou receios e não tivessem influências externas. As apresentações tiveram cerca de 10 a 15 minutos de duração e foram feitas por todos os alunos.

Após transcritas as apresentações, o pesquisador deu início a uma análise descritiva – também sugerida por Tonzoni-Reis (2009) – na qual enquadrou-se as apresentações nas categorias já mencionadas, ou seja, nas regiões do perfil epistemológico bachelardiano.

Das seis apresentações realizadas, três apresentaram maior consistência e abrangência de conteúdo frente ao tema e, portanto, foram as escolhidas para compor o objeto da análise dos resultados dessa etapa da pesquisa. Na análise, buscou-se descrever nuances do tratamento dos alunos para o referido tema, de modo a levantar evidências de que as falas, em sua totalidade, não se enquadravam em somente uma categoria de análise, mas em várias, evidenciando assim, as diversas regiões do perfil epistemológico.

3.3 Entrevistas e perfil epistemológico

Terminadas as atividades referentes à crônica de aula, foi feita uma entrevista individual (semi-estruturada), a qual teve como objetivo a obtenção de dados que fornecessem, de modo mais sucinto, a concepção dos alunos frente ao tema. O motivo de escolha desse instrumento de análise se deu por indicações da literatura referente a pesquisa em ensino. Manzini (2004) caracterizou esse tipo de entrevista.

Ela se insere em um espectro conceitual maior que é a interação propriamente dita que se dá no momento da coleta. Nesse sentido, para nós, a entrevista pode ser concebida como um processo de interação social, verbal e não verbal, que ocorre face a face, entre um pesquisador, que tem um objetivo previamente definido, e um entrevistado que, supostamente, possui a informação

que possibilita estudar o fenômeno em pauta, e cuja mediação ocorre, principalmente, por meio da linguagem. (MANZINI, 2004).

Para tentar organizar ou estruturar melhor conversa com os entrevistados, o pesquisador elaborou um roteiro para as questões. No entanto, houve flexibilidade durante a condução da entrevista de modo a parecer uma espécie de “bate-papo”. As questões que o entrevistador tinha como foco, será explicitada a seguir:

Questão	Objetivo
1) Como você conceituaria o espaço?	<i>Verificar se o sujeito possui a concepção de que este conceito “possui ou não” uma definição clara, precisa e definitiva.</i>
2) A existência do espaço depende da existência de algum corpo.	<i>Intentou-se, com essa questão, estabelecer uma provocação no sentido de que se pudesse estabelecer uma discussão mais rica no que diz respeito as teorias que envolvem a noção de espaço.</i>
3)Na sua opinião (de acordo com a sua formação cultural e acadêmica) a noção de espaço passou por mudanças significativas ao longo da história?	<i>Evidenciar o modo pelo qual os alunos iriam descrever as transformações conceituais pelas quais o referido conceito passou.</i>
4)Para você, o conceito de espaço é importante nas aulas de física?	<i>Analisar se os alunos dão ou não relevância didática ou conceito de espaço.</i>

Quadro 1 - Roteiro para entrevista

Após os alunos terem apresentado suas crônicas de aula, o pesquisador agendou uma entrevista individual com os sujeitos investigados e, de posse do roteiro descrito acima, conversou individualmente com os sujeitos da amostra. As entrevistas foram gravadas e transcritas para serem, posteriormente, analisadas.

Depois de realizada a entrevista, o pesquisador apresentou aos sujeitos as categorias bachelardianas do conceito de espaço e pediu para que eles informassem, na forma de porcentagem, a influência de cada doutrina no modo pelo qual eles concebem o referido conceito. Com esses dados foi possível

traçar o perfil epistemológico dos estudantes, de modo que a altura das barras são proporcionais as porcentagem de incidência das concepções informadas. Por fim, tais perfis foram interpretado, segundo o referencial teórico bachelardiano.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E ANÁLISE DE DADOS

Este capítulo destina-se à apresentação dos resultados obtidos no estudo empírico deste trabalho. Antes de tudo, ressalta-se que o objetivo central foi o de evidenciar o processo de conceitualização do espaço físico e não traçar os perfis epistemológicos dos alunos. A análise se deu em três partes: inicialmente, apresenta-se uma análise preliminar dos resultados dos questionários aplicados no início da disciplina (Questionários 1 e 2 – ver Apêndice) – [item 4.1]; em seguida, fez-se uma análise descritiva das transcrições das crônicas de aula preparadas e apresentadas pelos alunos durante a disciplina [item 4.2] e, por fim, analisou-se as entrevistas realizadas pelo pesquisador com os estudantes [item 4.3] à luz da epistemologia de Gaston Bachelard.

4.1 Análise dos questionários prévios (Questionários 1 e 2)

Conforme descrito no capítulo anterior, antes das atividades da disciplina, foi solicitado aos estudantes que respondessem a um questionário inicial (Questionário 1) contendo uma questão aberta solicitando uma descrição pessoal acerca do seu entendimento do conceito de espaço. Após a intervenção do pesquisador com as apresentações foi aplicado um novo questionário (Questionário 2) composto por 8 (oito) questões fechadas e uma (1) questão aberta, as quais davam maiores detalhes do pensamento dos estudantes sobre o referido conceito. As seções a seguir fazem uma análise quantitativa e qualitativa destas duas partes da coleta (Questionário 1 e 2).

Primeira parte – questão aberta

Julga-se pertinente retomar o enunciado da questão para que a análise se dê de forma mais clara. A questão inicial (sem qualquer intervenção do pesquisador) foi a seguinte:

- 1) *Por favor, responda com suas palavras: a) como você definiria a palavra “espaço”?; b) qual a utilidade ou importância deste conceito para a física?*

Como era esperado, encontrou-se uma multiplicidade de termos, expressões e ideias que os alunos associam ao conceito de espaço. Para a análise deste trabalho, agrupou-se as respostas segundo categorias inspiradas em uma leitura de Gaston Bachelard (2009), que estão sucintamente descritas abaixo.

Categorias de análise

- *Realismo ingênuo*: a noção de espaço aqui enquadrada caracteriza-se por ser demasiado simplista, ou, nos dizeres de Bachelard “quantitativa grosseira, como que ávida da realidade” (2009). O espaço é reduzido tanto ao “lugar” que os corpos ocupam quanto a distância e volume (exemplos de expressões assim classificadas: “com licença, me dê um espaço para que eu possa passar” e “essa mesa ocupa um espaço enorme”). A redução à ideia de um mero “vazio” também é enquadrada aqui, uma vez que é “leviana” e implica em dizer que corpos materiais não ocupam espaço. Em outras palavras, o espaço é descrito de uma forma confusa, de modo que não fica claro se ele é tratado como forma, lugar, distância ou volume;
- *Empirismo*: aqui, a caracterização do espaço é fundamentalmente vinculada a noção de mensuração ou medida. Em analogia com a “conduta da balança” cunhada por Bachelard para descrever o conceito de massa segundo a doutrina empirista, para a ideia de espaço, chega-se a uma “conduta da espacialidade”. Não cabe, a nosso ver, associar tal mensuração com um instrumento de medida (régua, trena, etc), uma vez que o espaço, numa visão empírica, é tratado como sendo unidimensional, bidimensional ou tridimensional; ou seja, pode ser “medido” com uma infinidade de instrumentos. Frases como “espaço é a distância que separa dois pontos”, “espaço é a medida do deslocamento

de um móvel” e “espaço mensura o volume de algum recipiente”, se enquadram nesta categoria. Enfatiza-se a diferença entre esta categoria e a anterior: no realismo ingênuo, o espaço relaciona-se com a forma, ou mesmo com alguma medida de volume, mas de modo indireto, impreciso e confuso; na concepção empírica, o espaço é diretamente associado com a medida de algo, seja ela de distância, área ou volume;

- *Racionalismo clássico*: o conceito de espaço relaciona-se com alguma teoria da física clássica, tendo, portanto, influência em muitos fenômenos naturais. É descrito da mesma forma que Einstein refere-se ao espaço como sendo o referencial inercial (JAMMER, 2010), ou mesmo se entendido como campo gravitacional ou elétrico. Frases que exemplificam o espaço segundo esta concepção: “o espaço é a região que permeia a Terra e, portanto, é responsável pela gravidade”, “espaço é campo de forças” ou mesmo, as mais gerais como, “o espaço é a interação à distância”. Uma característica fundamental desta categoria é que a teoria na qual o espaço está classificado é essencialmente clássica, envolvendo, portanto, a mecânica newtoniana e o eletromagnetismo de Maxwell;
- *Racionalismo completo*: tem como principal característica o fato de o espaço estar vinculado a algum outro conceito fundamental. Na física, até o presente momento, tem-se o exemplo da teoria da relatividade que trabalha com o conceito de espaço-tempo. O conceito, portanto, além de interagir, ser responsável por diversos fenômenos naturais (como descrito no *Capítulo 2*, na sessão sobre gravitação universal), é diretamente relacionado com a noção de tempo. Portanto, as respostas que se enquadram nesta categoria são aquelas que mencionam diretamente a teoria da relatividade geral, ou mesmo, simplesmente a ideia de espaço-tempo.

Tais categorias bachelardianas foram utilizadas em três momentos da pesquisa descrita aqui: para analisar as duas partes deste questionário (Questionários 1 e 2); com viés na classificação do conteúdo presente na apresentação das crônicas de aula, e também, como referência para que os alunos traçassem os seus perfis epistemológicos, presentes na entrevista que

compõe a terceira parte deste capítulo de resultados; logo, foram de importância crucial para este trabalho.

4.1.1 Análise das questões abertas

Descritas as categorias de análise, analisaremos os dados presentes no *Quadro 2*, que referem-se as respostas da pergunta já retomada aqui. A primeira coluna do *Quadro 2* representa as categorias de análise e a segunda coluna a identificação dos sujeitos investigados na pesquisa e que apresentaram a zona correspondente ao perfil epistemológico. A seguir, será feita uma discussão geral a respeito dos dados do *Quadro 3*, em conjunto com exemplos de extratos das respostas.

Categorias	Sujeitos investigados
Realismo ingênuo	KEL, LUC, MAI e RAF
Empirismo	KEL, LUC, MAI e MAR
Racionalismo simples	GAB e MAI
Racionalismo completo	GAB, MAI e MAR

Quadro 2 – Classificação das zonas do perfil apresentadas pelos sujeitos

O conceito de espaço é muito presente no cotidiano, sendo utilizado nas mais diversas situações para se referir às mais variadas ideias. Logo, a prevalência da categoria *Realismo Ingênuo* é aceitável, mesmo levando em conta que os sujeitos são estudantes do último ano do curso de licenciatura em física. Enfatiza-se que foi pedido o máximo de sinceridade nas respostas das questões, então, seria temerário não esperar que a noção do senso comum estivesse presente, de forma considerável, no modo pelo qual os estudantes entendem um conceito tão “pouco discutido” (isso foi relatado pela grande maioria dos alunos) quanto o de “espaço”. Exemplos de respostas:

RAF: *“Na minha concepção de espaço, ele seria algo que contém massa ou volume (corpo) localizado em algum local (espaço) maior”.*
(Grifo nosso)

MAI: “Podemos definir espaço como a região ou dimensões na qual um corpo pode ocupar”. (Grifo nosso)

Comentário: Além das características que fazem parte da concepção do *Realismo Ingênuo*, estas respostas mencionam a relação conteúdo/contido, aproximando-se da concepção aristotélica que foi descrita no capítulo sobre os aspectos históricos.

LUC: “Espaço é tudo aquilo que ocupa um determinado lugar no globo terrestre, em geral, não importando qual é o tipo de elemento, lugar ou forma de onde ele esteja ocupando.” (Grifo nosso)

Comentário: percebe-se uma relativa confusão entre a definição de espaço, propriamente dita, e lugar, o que caracteriza o senso comum, aqui enquadrado na categoria *Realismo Ingênuo*. Outra marca do senso comum foi a restrição do espaço ao “lugar no globo terrestre”; no entanto, tal colocação pode ser fruto de falta de atenção ao responder o questionário.

KEL: “No meu entender, espaço é o local sem preenchimento entre objetos.”; “Também é definido pelo local que ocupamos” (Grifo nosso)

Comentário: uma resposta típica do senso comum pelo fato de desconsiderar a possibilidade de que os entes materiais possam ocupar um lugar no espaço. No entanto, esse modo de ver é predominante fora da academia, ou mesmo em pessoas que não estudam a noção formal de espaço. Tal constatação foi obtida pelo pesquisador ao indagar informalmente várias pessoas sobre o referido conceito.

A concepção empírica esteve presente em um terço das respostas e, como será explicitado, todas dizem respeito à ideia de medida de distância entre dois pontos, ou mesmo encaram o espaço como sendo sinônimo de deslocamento. A razão desse entendimento é, muito provavelmente, produto das definições presentes em manuais didáticos tradicionais que, por um motivo desconhecido pelo autor dessa pesquisa, insistem em colocar espaço como sendo *sinônimo de distância percorrida*. Muitos chegam ao absurdo de definir espaço na reta que representa a trajetória, ou seja, unidimensional! Não cabe aqui analisar o modo pelo qual os manuais tratam da noção de espaço, mas, a

título de ilustração dessa concepção empírica, segue-se um exemplo de definição de espaço em um livro didático muito conhecido.

*“A medida do arco de trajetória **OP** precedida pelo sinal de + ou -, conforme a orientação da trajetória, é indicada pela letra S e recebe o nome de espaço do ponto material P no instante t”. (CALÇADA, 1997) – Grifo nosso.*

As respostas enquadradas na concepção empírica (*empirismo*) coincidem (ou estão bem próximas) da definição acima. Como comentário geral, além das considerações já apontadas, frisa-se a ênfase dada tanto à medida quanto à dimensionalidade nas respostas analisadas. Encarar o espaço como sendo a medida de um arco, ou mesmo a porção (ou ponto) específica(o) de um gráfico cartesiano é, ao nosso ver, uma concepção empírica, uma vez que a definição é diretamente relacionada com a ideia de mensuração. Eis alguns trechos que ilustram o que os alunos disseram:

KEL: “Além de nos mostrar a distância de um ponto a outro, também é definido pelo lugar em que estamos. Ele nos ajuda na concepção de distância de um ponto a outro”. (Grifo nosso)

LUC: “Espaço é a distância que separa dois pontos nas três (3) dimensões. Através da noção de espaço a Física pode mostra teorias factíveis que podem representar a realidade com precisão e, portanto, prevê-la e representá-la”. (Grifo nosso)

MAI: “Na mecânica, espaço é abordado como deslocamento que um corpo faz de um ponto ao outro”. (Grifo nosso)

MAR: “O espaço é definido por três dimensões, a partir daí, conseguimos descrever a trajetória de um objeto, seu deslocamento e sentido”. (Grifo nosso)

No tocante à terceira categoria, *Racionalismo Simples*, observou-se que houve, de certa forma, uma preferência em citar a mecânica newtoniana. Conforme foi mencionado, as leis de Newton foram definidas em um local especial, que foi chamado de referencial inercial, que é comumente entendido como sendo sinônimo de espaço onde tais leis são aplicáveis. Todavia, uma

forma alternativa dessa concepção seria encarar espaço como sendo sinônimo de campo gravitacional (newtoniano) ou o campo eletromagnético. Em ambos, o espaço seria o responsável pela interação física. Segue um exemplo de resposta enquadrada nesta categoria de *Racionalismo Simples*.

GAB: “É um conceito matemático, que pode ser interpretado na física como lugar geométrico. As leis de Newton foram formuladas para serem válidas no espaço.”

Comentário: apesar de o aluno afirmar que trata-se de um conceito matemático, a segunda frase deixa evidente a importância física do espaço: se ele (o espaço) não existisse, as leis de Newton não seriam válidas. É a definição de referencial inercial e, portanto, enquadra-se na categoria de *Racionalismo Simples*.

Por fim, as respostas enquadradas na quarta e última categoria (*Racionalismo Completo*) foram aquelas que relacionaram a ideia de espaço com a Teoria da Relatividade Geral sendo, portanto, responsável pelo efeito da gravitação. Esta categoria abrangeu um terço das respostas e a sua presença é coerente com o fato de a pesquisa ter se dado com alunos do último ano do curso de licenciatura em Física e que, portanto, já concluíram a disciplina relacionado ao conteúdo de física moderna e contemporânea. Alguns exemplos de respostas:

MAR: “Quando este conceito (de espaço) é levado para a física moderna, onde Einstein aborda o conceito de espaço-tempo, fica ainda mais complicado de analisar tal conceito”.

Comentário: o espaço é tido como fundamentalmente “complicado” e, como característica da categoria *Racionalismo Completo*, aparece vinculado ao tempo segundo a noção de “espaço-tempo”. Tal resposta é uma mostra de reconhecimento da complexidade da noção de espaço que, como pode-se notar, é comumente entendido como ente geométrico que localiza o objeto.

GAB: “O espaço também se relaciona com a dimensão tempo e, com isso, Einstein elaborou a Teoria da Relatividade.”(Grifo nosso)

MAI: “Quando esse conceito é levado para a Física Moderna, onde Einstein aborda os conceitos de espaço-tempo, fica ainda mais complicado analisar tal conceito”.(Grifo nosso)

MAR: “O espaço também se relaciona com a dimensão tempo, e com isso Einstein elaborou a Teoria da Relatividade”(Grifo nosso)

Comentário: não foi especificado que trata-se da teoria da relatividade geral, no entanto, subentende-se que sim, pois foi mencionada a relação com o conceito de tempo que, por sinal, é tratado como uma dimensão separada do espaço. Esta última resposta é mais uma evidência do caráter complexo que a noção de espaço assume nas teorias físicas modernas. O fato de apenas um terço dos estudantes apresentarem esta relação conduz ao problema do tratamento das disciplinas de Física Moderna, no entanto, apesar de se tratar de um empecilho grave no tocante ao ensino de física, não cabe discutir neste trabalho os pormenores.

O Quadro 3 mostra as regiões do perfil epistemológico que foram apresentadas pelos sujeitos investigados.

Alunos	Realismo Ingênuo	Empirismo	Racionalismo Simples	Racionalismo Completo
GAB			X	X
KEL	X	X		
LUC	X	X		
MAI	X	X	X	X
MAR		X		X
RAF	X			

Quadro 3 – Regiões do perfil apresentadas pelos alunos

O fato de alguns alunos em suas respostas não terem apresentado algumas regiões do perfil, não significa que eles não possuam. Foi justamente na tentativa de evidenciar as definições que emergiam do pensamento e concientizar esses alunos da pluralidade que o conceito de espaço apresenta.

4.1.2 análise das questões fechadas

A segunda parte do questionário inicial foi analisada tomando-se, inicialmente, as questões 2 e 3 separadamente, e as demais questões (da 4 a 8) tomadas em conjunto. Os resultados das respostas as questões 2 e 3 estão no *Quadros 4 e 5*, respectivamente. As questões encontram-se no *Apêndice 1*. Dentro de cada Quadro aparecem a pergunta e respostas, respectivamente.

Alternativas para a questão 2: Dentre as opções abaixo, qual é aquela que melhor caracteriza o espaço?	Número de respostas
a) Realismo ingênuo: designa a posição do objeto, ou seja, é a medida da trajetória partindo da origem até o local onde se encontra o objeto.	6
b) Empirismo: Relaciona-se com aquilo que é observável; é absoluto e; está relacionado à uma região do cosmo;	2
c) Racionalismo simples: É responsável por interações mecânicas e/ou eletromagnéticas e, porventura recebe o nome de “campo”;	0
d) Racionalismo completo: É um “ente” vinculado ao “tempo” e é responsável por consideráveis efeitos no macrocosmo.	3

Quadro 4 – respostas da questão 2

Cada alternativa dessa questão possui corresponde a uma categoria bachelardiana já descrita, conforme observa-se na tabela. A prevalência marcante da alternativa *a)* é mais uma evidência de que o senso comum exerce grande influência no modo pelo qual os estudantes concebem o conceito de espaço. A alternativa foi descrita, conforme já foi colocado, com o intuito justamente de resgatar os elementos mais presentes na categoria do *Realismo Ingênuo* e, como percebe-se claramente, é a doutrina que mais caracteriza a amostra em estudo.

A presença das categorias *Empirismo* e *Racionalismo Completo* também é coerente com o que constatou-se na primeira parte da análise. No que se refere a categoria *Racionalismo Simples*, uma possível justificativa para a sua ausência pode ser o fato de que solicitou-se que marcasse somente uma alternativa, ou seja, a primeira impressão quando se remete ao conceito de espaço. Neste caso, como já foi discutido, era evidente que prevalecesse o *Senso Comum*, ainda que houvesse resquícios de *Empirismo* e *Racionalismo Completo*.

O intuito da Questão 3 foi o de evidenciar mais características acerca da compreensão dos graduandos no que se refere à noção de espaço. Os

resultados apontam que, a grande maioria acredita que a matemática (no caso, a geometria) é quem pode melhor determinar o espaço (é o que diz a alternativa c)). Tal prevalência pode ser justificada pelo fato de eles terem tido uma formação acadêmica essencialmente formal, no tocante a matemática. Também foi identificada a presença de concepções que admitem que os sentidos podem caracterizar o espaço (alternativa a), bem como os fenômenos da natureza (alternativa b)). Essa é uma compreensão um tanto quanto de *Senso Comum* ou *Empirista*, como já foi constatado, é um tipo de entendimento presente de forma considerável na amostra em análise.

Alternativas para a questão 3: O espaço é determinado melhor:	Número de respostas
a) Pela experiência dos sentidos;	1
b) Pelos fenômenos da natureza;	1
c) Pela matemática (no caso a geometria)	6
d) Por Deus, ou por uma outra divindade	0
e) Por nada disso, o espaço não pode ser determinado	0

Quadro 5 – respostas da questão 3

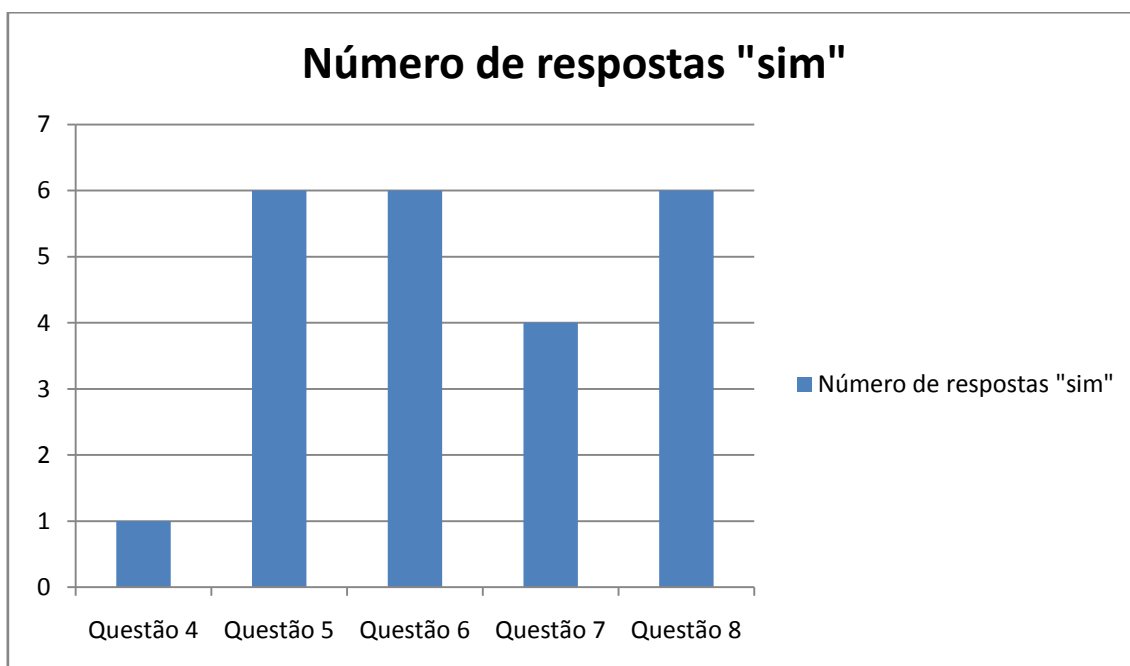


Gráfico 1 – Porcentagens de respostas afirmativas para questões de 4 a 8.

O *Gráfico 1* traz as demais perguntas do questionário, em sua totalidade (seis sujeitos). Julgou-se que a análise seria facilitada se tomada segundo as respostas “sim”, uma vez que compõem a maioria.

Para a maioria dos estudantes o espaço não é infinito (questão 4). Todos concordam que o espaço pode interagir com outros objetos e ser responsável pelos fenômenos físicos (questão 5) e pode se relacionar com outros conceitos físicos (questão 6). Quatro (4) alunos concordaram com a afirmação do livro que atribui ao espaço a propriedade de localização de um móvel em sua trajetória (questão 7), que é característica do Empirismo. Todos concordaram que a noção de espaço possui um papel relevante nas teorias da física moderna e contemporânea.

A aceitação unânime das considerações feitas nas questões 5 e 6 dão indícios de que a racionalidade é presente na concepção de todos os estudantes. Um estudante desconsidera a finitude do espaço (questão 4), o que, ao nosso ver, não pode ser evidência de uma postura nem ingênua, nem demasiado racionalista, pois mesmo a física contemporânea não fornece uma resposta categórica a essa questão. Colocações já feitas explicam as incidências das demais questões.

4.2 Análise das apresentações

Abaixo, seguem os extratos das apresentações descritos e classificados segundo as categorias já mencionadas. Os alunos foram identificados pelas três primeiras letras do nome para preservar sua identidade.

4.1.1 Realismo ingênuo

GAB: A primeira coisa que comecei a pensar seria o contexto pra falar sobre o espaço. Eu pensei em duas situações: uma, na graduação em Física, talvez na disciplina de História da Ciência; e outra, no ensino médio, em aulas de Física e até mesmo de Filosofia. Na verdade, esta apresentação ficou até voltada mais pra filosofia.

Começando com uma motivação sobre o espaço, aqui (no slide) eu procurei relacionar algumas palavras que me veio em mente: espaço como trajetória, três dimensões, espaço como “ocupar volume”, espaço-tempo, espaço sideral. São algumas palavras que, às vezes, estão no cotidiano de todos nós e se relacionam com o espaço.

MAI: Bem, o que é espaço? Quando a gente faz essa pergunta, é necessário definir em que contexto a gente quer definir “espaço”. No cotidiano, temos espaço como lugar, região...mas, espaço é um termo que vem desde o primeiros filósofos e teve várias definições diferentes; inclusive na matemática e na física ele teve definições importantes. Então, falando na filosofia, para Aristóteles, “espaço é o lugar onde o corpo está contido”, ou seja, para ele, lugar é definido como o limite de um todo. É, o objeto está em algum lugar, o espaço é definido como o limite que o corpo dele tem. Essa é uma definição que hoje pode soar um pouco estranha pois é com relação ao corpo em si.

Os estudantes reconhecem que o senso comum constitui de forma marcante a concepção acerca do referido conceito. Conforme especificou-se na descrição das categorias, a principal característica do *Realismo Ingênuo* é uma associação de termos que gera um confuso emaranhado de conceitos com significação superficial, como os recortes acima evidenciam. Todavia, Bachelard (2009) alerta que não se deve negar, no sentido de ignorar por completo, essa tipo de concepção, dado que é conhecimento que o aluno possui antes de entrar em contato com o ensino formal, tendo, portanto, de relativa importância na futura construção do conhecimento científico.

4.2.2 Empirismo

MAI: Descartes usava mais o conceito de extensão. Ele usava a ideia do plano cartesiano, então, para ele, o espaço era uma extensão dividida, era mensurável. Ele falava assim: o espaço, sendo extensão, o próprio corpo é o espaço. Depois, Newton não vai concordar muito com a definição de descartes.

RAF: Aqui, em sites educacionais de livros didáticos, inclui todos os livros que falei, e, em geral, eu cheguei a esta conclusão, que “a distância entre dois

pontos é o espaço a ser percorrido entre eles; o espaço entre duas paredes é a metragem de uma até a outra. Esses espaços são finitos, estão associados a dois pontos e as duas paredes. Como tal, são medidos em metros e outras unidades de dimensões”. Em geral, os livros trazem essa definição de espaço e ela é vista, inclusive, aqui na universidade. Tradicionalmente, consideramos que existem três dimensões de espaço, que são a altura, largura e profundidade. Ao jogar uma bolinha, por exemplo, se você quer calcular o espaço por ela percorrido, você tem que considerar os eixos x, y, e z e, aí, fazer as contas pra determinar a distância que ela percorreu. Intuitivamente, o conceito de espaço tem o conceito de distância, de comprimento. No caso, aqui, é a região compreendida entre dois pontos consecutivos. Isso aí é o que eu consegui tirar dos sites educacionais de livros didáticos.

A tendência em relacionar, ou até mesmo tomar como sinônimos, espaço com/e distância percorrida, deslocamento ou posição; é algo que permeia o ensino de física. As apresentações indicam que a razão disso é uma leitura superficial - ou precoce - da proposta cartesiana a respeito do tema, e também é fruto de uma definição simplória presente na maioria dos manuais didáticos. Essa concepção empírica não pode ser tomada como única, pois acarretaria em ignorar todo o contexto cultural, histórico e filosófico que envolvem a noção de espaço; entretanto, a relação com o mensurável não pode ser negada, pelo mesmo motivo que a concepção referente ao Realismo ingênuo: está incutida no corpo de conhecimentos que o aluno carrega antes mesmo de estudar de modo formal.

4.2.3 Racionalismo simples

GAB: *Os trabalhos do século XVII e XIX, na verdade, não tinham muita essa divisão de ciência como temos hoje; essa divisão de produção científica. E elas levam, com respeito ao conceito de espaço, considerações metafísicas, psicológicas e até mesmo filosóficas. Na verdade, esses termos são mais modernos, não se diferenciava muito filosofia de física. Mas, usando as palavras de hoje, era mais voltado pra filosofia do que pra física.*

Agora, falando, especificamente, do espaço absoluto; o que eu achei muito interessante, preparando os textos, foi que Newton se baseou - foi muito influenciado - pela religião; em sua formulação do conceito de espaço. Na verdade, Henry More e Rene Descartes vieram antes (e também no mesmo período) que ele, e eles tinham os seus conceitos de Deus, cada um tinha o seu conceito; More defendia que Deus era atuante, presente na vida das pessoas. Descartes já tinha uma concepção um pouco diferente, ele acreditava em um Deus que, vamos dizer assim, só deu o “pontapé” inicial no universo e, a partir disso, não influenciou mais em nada. Bom, e através desse embate, da religião, Deus, Deus atuante, Deus não atua, foi que Newton elaborou a sua concepção, no caso, mais próxima da de More. A sua concepção de espaço é, então, religiosa, de um Deus atuante. Até porque, a teologia é muito vinculada com a ciência. Ele usa bastante essa influência da religião nas suas produções científicas.

Espaço para More: “esse espaço tem a sua existência garantida, não pela presença de matéria, mas pela manifestação da ação divina (espírito da natureza).” Já mostra o quanto eles associavam como eles usavam essa palavra “divina”, superior da natureza, com o conceito de espaço. Vale ressaltar também que a diferença entre Newton e os filósofos mais antigos é que eles não colocam Deus, religião, para explicar os fenômenos. Aqui, na concepção newtoniana, Deus faz parte dos fenômenos, estava presente, mas não era a principal intenção da ciência, mas ele fazia parte. Outra coisa interessante é que ele submete a sua crença na “empíria”, ou método experimental, ou seja ele tinha a sua concepção de religião, a partir dela criou o seu espaço, criou o seu conceito de espaço; só que ele não ficou por aí, ele usou a ciência para provar a sua concepção de espaço com base na religião, então ele usou a ciência para provar algo que fazia sentido pra ele, segundo a sua formação religiosa, que era o Espaço absoluto. É...muito importante também nessa concepção de Newton, é o conceito de Lugar , que é o Lugar relativo e o Lugar Absoluto e é a partir desses conceitos de Lugar Relativo e Absoluto que ele chega na sua concepção de espaço absoluto; e vinculado a esses conceitos (de lugar relativo e absoluto) tem o conceito de movimento relativo e movimento absoluto. Movimento absoluto nada mais é do que a translação de

um corpo de um lugar comum (absoluto) para outro (lugar absoluto); já o movimento relativo é a translação de um corpo de um lugar relativo para outro (lugar relativo).

Bom, eu tinha dito que ele usou a ciência para comprovar uma concepção religiosa, e o que ele usou a famosa experiência do balde pra chegar na concepção dele de espaço absoluto; e os resultados que ele usou para explicar esse comportamento físico (mostrando a concavidade da superfície da água), ele provou, ou apresentou o que ele achava que era certo para explicar e defender a sua ideia de espaço absoluto. Aqui, então, nós vemos (apontando para o slide) esse “Velho” Newton e o “Newton experimentador”. Esse velho Newton está ligado ao que cresceu com suas crenças religiosas, mas também não deixou o seu lado “físico, o seu lado cientista; na verdade, juntou essas duas coisas, o velho Newton com suas crenças religiosas e o Newton cientista.

Bom, no mesmo período, tinha Leibniz, seu arqui-rival...aqui tem o trecho de uma carta dele. Na verdade, tem uma história que ele enviou uma carta pra a princesa reclamando da posição religiosa de Newton, mas, como eles se davam tão bem, Newton não ligava pra nada do que ele dizia. Porém, Clarke, que era um filósofo da época, meio que tomou as dores de Newton e aí ficou esse embate, por cartas, entre Leibniz e Clarke, onde eles trocaram, se eu não me engano, cinco cartas; em, nessas cartas fica clara a posição de Leibniz, em especial nesse trecho em vermelho que ele diz “ao meu ver, o espaço é algo puramente relativo, como o tempo”. Aí se vê a sua não-concordância com o que Newton havia concebido com a sua ideia de espaço absoluto.

Na verdade, segundo esse autor, “Pinguelli”, teve um conflito de conceitos entre Leibniz e Newton. Leibniz encontrou assim dificuldades lógicas para tratar o lugar ou o espaço como independentemente das coisas, enquanto Newton não percebeu esta dificuldade ao tratar o espaço como absoluto, conflitando com Leibniz.

Bom, aqui nesse slide anterior eu já mostrei que Leibniz na época já contemporânea a Newton, ele já não concordou com Newton nessa história de Espaço absoluto. Mas, somente com a ciência moderna, como vou comentar mais pra frente na Relatividade, eles são completamente relativos.

MAI: Depois, com a concepção newtoniana, é apresentada uma visão fragmentada de espaço. Fragmentada porque Newton fez uma definição de espaço fisicamente e metafisicamente. No principia, onde ele descreve a mecânica, ele defini espaço e, em alguns aspectos ele entra em acordo com a definição de descartes, do espaço ser algo mensurável, e também muitas vezes ele usava metafísica para explicitar o conceito de espaço. Só que na abordagem dele é muito complicado de você entender o que é espaço, então a gente se baseiam em artigos que publicam a base do trabalho dele. Então, ele aborda espaço extensivamente, como o Descartes fez, só que, muitas vezes, ele entra em contradição com os conceitos dele.

Aqui são as propriedades que caracterizam o espaço segundo Newton, no livro que ele fala a respeito da mecânica. Na primeira definição, espaço é definido infinitamente, em todas as direções, de todas as formas – seccionável. Ele quis dizer, com isso, que o espaço é homogêneo e isotrópico, ou seja, ele é plano. O espaço ta dividido de forma infinita e absoluta. Ele quer dizer que o espaço pode assumir qualquer tamanho para qualquer direção e ele é plano. A segunda definição diz que o espaço tem uma extensão infinita em todas as direções, ou seja, ele é plano e infinito. Não tem como você dizer: o espaço acaba ali. Ele não conseguiria medir o espaço por completo, o o que você conseguiria medir é o espaço do corpo contido nele. A terceira propriedade que caracteriza o espaço em Newton é que as partes do espaço são destituídas de movimento. Essa é a parte que ele vai contra as definições de descartes, porque Descartes afirmou que o próprio corpo é espaço, ou seja, se corpo se movia, o espaço também se movia. Aí, Newton vez e diz: o espaço é destituído de movimento, logo, quem se move é o corpo no espaço, e não o espaço. O espaço está sempre imóvel. A quarta propriedade do espaço newtoniano é: tudo que é, está em algum lugar. No trabalho original dele, ele colocou: o espaço constitui uma disposição do ser enquanto Ser. Essa definição dele é da metafísica, onde ele usa mais a concepção de Deus. Deus está em toda a parte, as inteligências criadas estão em todo lugar, o corpo está no espaço que ocupa (lugar), sendo que, qualquer coisa que não estivesse em nenhum lugar, na realidade não existiria. Então, para ele, o que vai existir é aquilo que está contido no espaço. Então, tudo que é tem que estar em algum lugar. A quinta

propriedade diz que o espaço não influencia o movimento dos corpos e por isso é referência absoluta para esse movimento. Para ele, o espaço é apenas uma referência não utilizada nos cálculos, não interfere em nenhum tipo de movimento. Na sexta definição dele o espaço é eterno em sua duração e imutável em sua natureza. Quando ele usa o termo “eterno”, ele ta usando o conceito de infinito, e a segunda parte da sentença (imutável em sua natureza), ele usa uma concepção mais divina.

Então, resumindo: o espaço newtoniano é homogêneo, isotrópico, infinito, imóvel, inócuo (ofensivo, que não influencia em nada), eterno e imutável. As duas últimas características são metafísicas.

Aí, fisicamente, é o corpo que se move no espaço. Então, o que você mede é a distância de um ponto ao outro, e não no espaço em si. O corpo movimenta-se numa trajetória e a medida de um ponto ao outro, no espaço, é o deslocamento.

RAF: *Agora, aqui, algumas perspectivas do espaço na área de ciências exatas, foi a de Newton, que tem a visão de um espaço imutável e absoluto. Na visão de Einstein, não; o espaço é relativo, igual a Maiza e o Gabriel falaram, o espaço não é absoluto, o espaço tem uma extensão infinita, em todas as direções, no caso de Newton; no caso de Einstein, não é. Foi o que eu quis dizer aqui (apontando para o slide) a importância do espaço reside no fato de que ele é a base da descrição matemática do universo, ou seja, Einstein explica que o espaço é onde os corpos estão. Ou seja, se você entender o espaço, você consegue entender o universo, ou tem uma visão mais complexa dele.*

Os dois primeiros recortes apresentam evidências claras de como uma discussão que toma como subsídio a contextualização histórica, que resgata as ideias dos principais protagonistas que propuseram definições e explanações sobre o conceito – que, diga-se de passagem, envolveu aspectos culturais contundentes, como a religião - torna o ensino muito mais motivador, reflexivo e inspirador. Observa-se que o conceito foi (e ainda é) produto de discordâncias, de modo que sempre esteve distante de uma conceitualização definitiva. Esse é, ao nosso ver, um dos principais caráter humanístico da

ciência e defende-se veemente que tal abordagem deve ser utilizada sempre no trabalho de ensino de ciências, concordando com referenciais já citados no *Capítulo 1*.

Julga-se que a relativa preferência ao tratamento newtoniano (no caso, referindo-se ao espaço absoluto) é justificada pelo fato de ele ser um dos físicos mais eminentes da história da ciência.

4.3 Racionalismo Completo

GAB: *Bom, aí, no começo do século XX, Einstein, com a sua relatividade, tem as suas idéias de espaço-tempo, espaço curvo, o que expande ainda mais, volta a tona essa discussão sobre espaço; e ele chega e prova que o espaço e o tempo não são absolutos; coisa que o Leibniz já afirmava, mas sem uma prova científica, desde a época de Newton, e só Einstein que mostrou isso. É interessante que ele (o Einstein) mostrou que o espaço-tempo não são absolutos, são relativos, mas mostrou que tem outras grandezas que são absolutas, como a velocidade da luz. O que é isso, ser absoluta? Independente do referencial, ele é o mesmo, não muda de um referencial para o outro.*

MAI: *Na física Moderna, o Einstein usa a mesma concepção que a de Newton pra falar que o espaço é o palco no qual todos os fenômenos ocorrem, ou seja, é onde todos os corpos estão. A posição de um ponto no espaço é especificada através de suas coordenadas. Três coordenadas (altura, largura, profundidade) são necessárias uma vez que o espaço é tridimensional. Aí, com seus estudos, ele (Einstein) estabelece na teoria da relatividade geral que o espaço não é plano, entrando em conflito com a concepção clássica de Newton. Aqui, o espaço não é nem isotrópico, nem homogêneo. Lembrando que, a mecânica de Newton trata mais dos corpos terrestres, do movimento na superfície da Terra; já a de Einstein refere-se ao movimento celeste, com dimensões astronômicas. Só ele conseguiu ver que o espaço é deformado, uma curvatura, devido a sua massa. Então, para Einstein, a mera presença de um corpo no espaço já representa uma propriedade desse espaço; baseado nisso ele fez a teoria da relatividade geral que é uma teoria de gravitação. O*

que ocorre é a curvatura do espaço, devido a uma grande massa, ficando a teoria aberta para a existência de buracos negros e evidências da expansão do universo, como temos dados do satélite de Hubble. Foi isso que alavancou a física moderna. Essa teria, de que a gravidade curva, inclusive, a luz, foi comprovada experimentalmente. Daí, concluímos que o espaço não é um plano. E é isso!”

Para lidar com a principal marca da concepção enquadrada aqui como componente do *Racionalismo Completo* (a vinculação com o tempo), os alunos traçaram um paralelo com a teoria precedente, no caso, a newtoniana; o que enriqueceu muito a discussão. Por motivos relacionados com a formação acadêmica e cultural dos estudantes, percebe-se que este tipo de concepção foi menos discutido do que a concepção precedente – *Racionalismo Simples* – todavia, o simples fato de a discussão relativa a física moderna estar presente já é de grande valia, dado que, conforme já dados já citados, este tipo de assunto é praticamente inexistente no tocante ao ensino de física.

Durante a preparação das aulas, os alunos encontraram na História da Ciência várias concepções que eram defendida por cientistas e filósofos e que estão presente, ainda hoje, na definição do conceito de espaço. Foi possível que eles verificassem que a noção simplista veiculada pelos livros didáticos não dão conta de abarcar a multiplicidade deste conceito.

4.4 Análise das entrevistas e o perfil epistemológico dos alunos

Segue-se uma análise descritiva das entrevistas transcritas. Visando maior clareza, optou-se em expor as respostas de modo a compará-las, ou seja, coloca-se a pergunta seguida das principais respostas obtidas. Posteriormente, apresenta-se e discute-se o perfil epistemológico traçado pelos alunos.

4.4.1 As entrevistas

ENTREVISTADOR: *Você acha que é possível conceituar o conceito de espaço? Deixando mais clara a pergunta: você acha que é possível explicar definitivamente o conceito de espaço?*

GAB: *olha, eu...pensando aqui...na verdade, o conceito de espaço pode ter várias definições; depende do assunto que a sala tiver estudando. Depende do contexto que a aula tiver inserida. Se for, por exemplo, em cinemática, coisa que a gente já discutiu bastante; os livros didáticos até usam espaço como sinônimo de deslocamento, distância percorrida. Mas, aí, acho que dependeria do contexto que está sendo explicado. Depende da necessidade.*

MAI: *eu acho que pra dar um conceito definitivo é um pouco difícil porque, se a gente ver com o aluno conceitos clássicos, a gente trata o espaço como deslocamento, ou algo próximo disso, né?! De um ponto ao outro. Mas, quando a gente vai pra física moderna, a gente vê que o espaço tem uma visão muito mais ampla; tem a questão da deformação do espaço, tem a ideia de espaço tempo, e tudo isso tem relação com as dimensões. Então, eu acho que não tem como você apontar um conceito definitivo para o espaço. E, sem contar que, pra outras áreas, o espaço tem definições diferentes, então, acho que tem que tomar cuidado com isso, na hora que for definir espaço, tanto na física quanto nas outras áreas, geografia, filosofia também...então, eu acho que não tem como você apresentar um conceito definitivo, eu acho que vai depender do objetivo da aula.*

RAF: *não, porque eu acho que a definição de espaço tem vários âmbitos de definição, pois tem definição de espaço na geografia, tem a definição de espaço de outros pensadores que não se convertem em um espaço só. Tem várias definições, tem várias teorias, tem vários métodos pra se definir o espaço, não um só, como costumamos ver: dois pontos, traça uma linha e ta ali o espaço. Então, depende do contexto. “Vou trabalhar o quê? Ah, relatividade”, então a noção de espaço tratada aqui é diferente daquela noção mais clássica, de um carrinho se movendo e eu tenho uma posição fixa. Isso sem levar em conta as definições do senso comum: espaço entre duas coisas, geometria espacial, espaço euclidiano...espaço amostral da estatística. Acho que não se*

pode encontrar uma definição definitiva porque é um conceito com muitos significados.

Percebe-se que foi unânime a acusação negativa para uma conceituação definitiva para a ideia de espaço. A linha de argumentação utilizada por ambos segue a mesma direção: “depende do contexto”, “da aula”, ou mesmo da disciplina a ser trabalhada. Tal constatação é uma evidência de que os alunos reconhecem os vários âmbitos nos quais o conceito é abordado. Na ótica bachelardiana, pode-se dizer que os alunos estão cômicos da presença das doutrinas que compõem o perfil epistemológico (não em um nível técnico, mas no sentido de que eles não excluem completamente as abordagens anteriores às mais formais). Uma implicação disso para o ensino de física é que a discussão desse assunto em sala de aula vai de dar de forma aberta, não dogmática, de modo a não remeter que o conceito tem significação imutável.

ENTREVISTADOR: *As propriedades do espaço dependem da presença do corpo? Você acha que o espaço existe sozinho? Por exemplo: aquela cadeira ocupa um espaço. Se eu tirá-la de lá, o espaço continua lá?*

GAB: *é um pouco complicado pensar nisso. Na verdade, o espaço, segundo a minha concepção, foi criado pra descrever alguma coisa. Então...não faz sentido ter o espaço se não tiver algo nele.*

MAI: *eu creio que sim. Eu acho que o conceito de “nada” faz parte da física e não é uma coisa simples de você explicar. Então, vamos supor, não tem nada ocupando aquela região, a gente não pode falar “não tem espaço aqui”, “não há espaço lá”; eu acho que o conceito de “nada” precisa ser mais bem estudado; tanto é que na física moderna, principalmente na parte que estuda a vastidão do cosmo, porque, como que eu vou falar se existe ou não existe espaço em dadas regiões? Com relação as dimensões também, a necessidade é a mesma...nessas teorias da física contemporânea, que trabalham com a ideia de várias dimensões e tal.*

RAF: *Creio eu que espaço é algo, que nem fala: o universo está em expansão, o espaço está se expandindo e ...pra ocupar que espaço? No seu caso, se tirar*

a cadeira, o espaço dela continua lá, porque a terra, querendo ou não, tá dentro de um outro espaço, a galáxia tá dentro de um outro espaço, a gente não consegue ter aquela visão geral, de um Deus que cria tudo, sai do universo, olha e fala: “opa, isso aqui que é o espaço! Fora disso, aqui não é mais nada. Nós não temos essa visão, sempre vai ter algo a mais que está dentro de algo. Como não existem limites, até então é infinito. Não dá pra olhar de longe e determinar o quê tá dentro de quê, quem ocupa qual espaço. E eu concordo da dependência que existe com o pensamento também, pois eu assisto um anime onde existe uma aldeia fechada, isolada por paredes altas e, para eles, espaço tá limitado lá, o universo tá lá, não existe nada fora da aldeia. Ali é o espaço pra eles. Igual aconteceu até o século XV, onde diziam que a terra era plana e, nada existia fora dele. Então, depende muito da cultura também.

Aqui, nota-se uma diferença nítida para as respostas, que pode ser justificada pela formação cultural e intelectual dos estudantes. Além disso, percebe-se resquícios tanto de *Empirismo* – “o espaço foi criado para descrever as coisas” – quanto de racionalismo, no caso da resposta que atenta para a necessidade de um estudo mais aprofundado acerca da ideia de “nada”.

ENTREVISTADOR: *segundo a formação que você teve (quarto ano, praticamente um licenciado em física), a noção de espaço passou por modificações significativas ao longo da história? Você acha que a definição de espaço sempre foi, de um modo geral, a mesma?*

GAB: *a noção de espaço sempre foi uma coisa bem dinâmica...se pensar desde os gregos. Inclusive, dentro de cada área do conhecimento, sempre houve divergências...eu não diria divergências, é que, dentro da história da ciência, ela foi sim se modificando. E ela também sempre esteve presente nas teorias, inclusive, desde os gregos, passando principalmente por Newton, Einstein e, agora, mais recentemente, na teoria das supercordas.*

MAI: *na física, com certeza sim. Newton dizia que o espaço era absoluto, plano e não sofre modificações. E, hoje a gente vê que, com teorias da física moderna, especialmente a de Einstein, o espaço não é absoluto; é algo relativo, é vinculado ao tempo e tem a questão dos desdobramentos das*

dimensões, então, ele não é algo plano; ele é responsável por efeitos gravitacionais, foi provado, né?! Então, essa ideia passou sim por modificações...por exemplo, o espaço interage com objetos, coisa que antes era inconcebível.

RAF: *sim, muitas. A noção que eles tem de espaço hoje é diferente, chega até na micro, a noção de espaço é muito diferente da de antigamente. Antigamente eles olhavam uma bola e achavam que aquilo...o átomo mesmo, era indivisível, aquele era o espaço pro átomo; agora foi aprofundando e o que tem de espaço vazio lá dentro também mudou. Não tem uma matéria específica que dá origem a vida. Foram mudanças significativas.*

Era de se esperar uma resposta afirmativa a esta pergunta, dado que os alunos já tinham apresentado a crônica de aula referente a este conceito. Todavia, buscou-se analisar quais seriam os exemplos que os alunos utilizariam nos argumentos em defesa de suas respostas. Como pode-se perceber, apesar de serem visíveis algumas diferenças detalhistas, as respostas tem em comum o enfoque da ruptura que ocorreu na mudança do paradigma newtoniano para o relativista.

ENTREVISTADOR: *pra você, o conceito de espaço é importante nas aulas de física (pro ensino médio)?*

GAB: *com certeza. É muito importante ter uma discussão clara...não exatamente clara, mas ao menos que eles saiam com interrogações. Até porque o espaço faz parte da nossa vida também. E a física é uma descrição natureza, da nossa vida.*

MAI: *eu acho importante porque dá pra você explicar, cronologicamente, as mudanças que ocorreram na física, e correlacionar com as mudanças dos demais conceitos, como o tempo, e tal. Analisar os efeitos dessas mudanças, o que essas mudanças causaram na física. Dá pra tirar muitas lições. Facilita até pra explicar aqueles conceitos que mudaram, desde os gregos e tal...*

RAF: *é que depende do objetivo, do que você quer mostrar para o aluno. Seria legal ensinar do modo tradicional, um carro sai de um local e...e também trazer essas modificações. Mostrar pra eles que não é somente aquilo que ta no livro*

que é a total realidade da coisa. Pra ter uma visão mais ampla, mais qualitativa, não somente preso as contas, mostrar como o espaço se relaciona com a gente e tal.

Os sujeitos reconheceram o fato de que o conceito se relaciona com a física em praticamente a sua totalidade, o que é de suma importância. Destaca-se que um aluno sujeito a utilizar o conceito como um “gancho” para explicar a física cronologicamente, o que é uma ideia interessante e válida. Tão importante quanto reconhecer a importância do espaço nas teorias da física, é reconhecer que a abordagem histórica traz muitos benefícios para o ensino, não só de física, mas de ciências em geral.

A finalidade das entrevistas foi evidenciar no próprio sujeito a presença de algumas noções do conceito de espaço. Além disso, o sujeito entrevistado pôde perceber que há uma convivência “pacífica” dessas concepções, que deve ser utilizada de acordo com o contexto.

4.4.2 O perfil epistemológico traçado pelos alunos

Apresenta-se dois perfis epistemológicos estabelecidos pelos sujeitos. Optou-se em analisar este número reduzido de amostras pelo fato de serem as que mais apresentam diferenças interessantes e significativas, dando margem a interpretação comparativa. Indicamos o perfil do sujeito pelas denominações (perfil do aluno 1 e perfil do aluno 2).

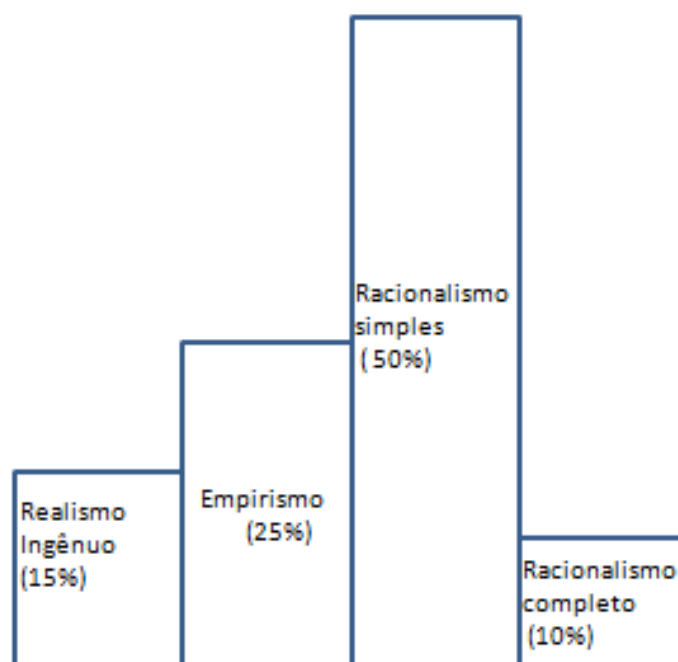


Figura 6 – Perfil epistemológico traçado pelo aluno 1.

A alta incidência da doutrina do *Racionalismo Simples* é coerente com o fato de que trata-se de um aluno do quarto ano de licenciatura em física. Um detalhe relevante sobre esse sujeito é que ele trabalha em um projeto de iniciação científica com enfoque muito mais teórico do que experimental, logo, a sua concepção empírica não poderia sobressair em relação à racionalista.

Como foi pedido máxima sinceridade ao fornecer os dados acerca de seu perfil epistemológico, o aluno viu-se receoso com respeito à categoria *Racionalismo Completo*, o que também é coerente, uma vez que, enquanto estudante de licenciatura, o seu contato com a Teoria da Relatividade limitou-se, muito provavelmente, ao estudo que as disciplinas exigem. Não faria sentido, portanto, que o aluno concebesse, de forma incisiva, o espaço como vinculado ao tempo; diferente do que ocorre com a doutrina *Empirismo* e *Realismo Ingênuo*, pois, mesmo uma pessoa imersa integralmente em pesquisa teórica pura ainda associa o espaço ao senso comum ou a medidas, pelo menos em algum momento de sua vivência.

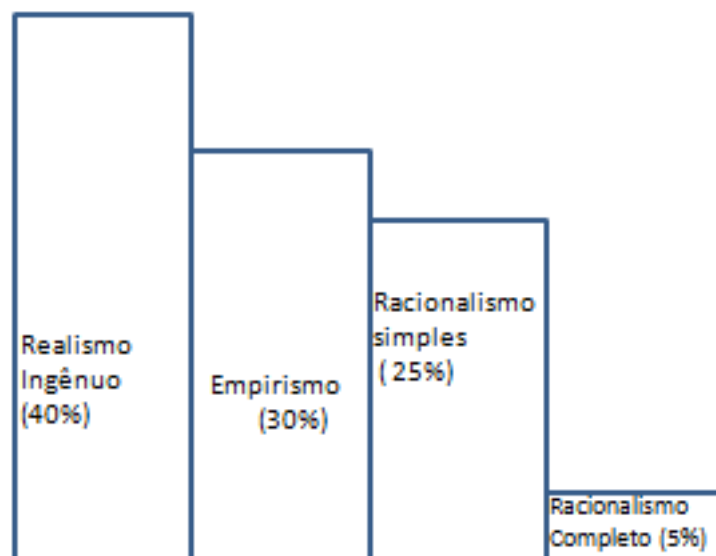


Figura 7 - Perfil epistemológico traçado pelo aluno 2

A evidente incidência da categoria *Realismo Ingênuo* chama muito a atenção, especialmente por se tratar de um estudante do último ano do curso de licenciatura em física. Todavia, a formação geral (cultural, intelectual e vivência) pode dar indícios de uma justificativa a esse fato: trata-se de um aluno que exerce há dois anos a função de docente de física e ciências para o ensino fundamental e médio. Desde o segundo de graduação, o referido aluno atua como professor nas condições de substituto/eventual; como há uma carência local muito grande de professores da área, a sua jornada acaba sendo extensa. Em outras palavras: ele passa mais tempo dando aula, em contato com alunos, do que debruçado sobre livros técnicos com formalidade física/matemática; logo, estranho seria se o seu modo de conceber o espaço fosse distante do senso comum.

Ressalta-se que a discussão acima é mais uma hipótese do que uma explicação categórica, pois considera-se 40% de incidência para o *Realismo Ingênuo* um valor exagerado para um estudante do último ano do curso de física. Os valores para as categorias *Empirismo* e *Racionalismo Completo* mostram-se coerentes para a sua formação, tanto que se aproximam, relativamente, dos valores referentes ao Perfil 1. O baixo valor para a categoria *Racionalismo Simples* é consequência direta do predomínio da doutrina referente ao senso comum.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A primeira constatação que se obteve, e que merece ser ressaltada, diz respeito a dificuldade em encontrar material de cunho histórico, filosófico e até mesmo conceitual, acerca do conceito de espaço: *material de qualidade*, evidentemente. Apesar desse empecilho, pode-se verificar que o conceito de espaço esteve, está e, ao que tudo indica, sempre estará presente de forma contundente nas teorias da física e também da matemática. É, de fato, uma pena que este conceito não seja explorado nos livros didáticos que compõem os manuais clássicos dos cursos de licenciatura, ou mesmo nos do ensino médio. O motivo dessa ausência está, em hipótese, intimamente relacionada justamente com a dificuldade em se encontrar textos fieis acessíveis e instigantes sobre o tema. O conceito de espaço está “fora de moda”, condição que a noção de tempo também já esteve, mas não mais. É possível encontrar discussões interessantes sobre o conceito de tempo em livros (especializados ou não) e também em artigos. Espera-se que o mesmo aconteça com o conceito de espaço, pois um conceito que foi fundamental em teorias da física, tanto da antiguidade quanto da física moderna e contemporânea, merece ser levado para a sala de aula como assunto relevante e ser discutido como tal. Não se sugere que toda a discussão histórica que foi apresentada aqui, vá para a sala de aula, mas indica-se que ao menos se mencione que, ao contrário do que dizem muitos manuais, trata-se de um conceito que sempre foi complexo. Defende-se a ideia de que o ato de resgatar alguma noção que passe despercebida no cotidiano, ou seja, tratar cientificamente algum conceito que, a princípio, seja banal, pode motivar os estudantes acerca dos fascínios que a ciência favorece, assim como transmite a ideia de que os conceitos científicos, por mais simples que aparentam ser, estão longe de terem uma formulação científica definitiva. A ciência proporciona conhecimentos, isso é fato, entretanto, tais conhecimentos não são exclusivamente respostas, são, também, perguntas e inquietações. Essa é imagem de ciência que deve ser

levada a sala de aula e uma perspectiva histórico-filosófica é de grande valia para que essa transposição aconteça.

As categorias de análise se mostraram eficientes, mas, evidentemente, limitadas. Muita coisa acerca do imaginário dos futuros docentes pode e deve ser identificada e analisada de forma metódica, segundo os referenciais da educação científica. O intuito deste trabalho foi o de evidenciar o modo pelo qual futuros docentes compreendem o conceito de espaço; isso, de certa forma, foi feito. As categorias referentes ao *realismo ingênuo* e *empirismo* mostraram marcas da influência do senso comum na concepção dos futuros docentes; reminiscências que, ao nosso ver, devem estar presentes. As categorias referentes ao *racionalismo* (tanto o simples como o completo) tem forte vínculo com as trabalhos de pesquisa e com o contato que o aluno tem com a física “dura”. Seria possível analisar e explorar a quinta categoria bachelardiana para o perfil epistemológico: o *racionalismo dialético* (ou *ultraracionalismo*). Este não foi explorado aqui pelo fato de ser necessária uma análise em uma disciplina mais técnica para que se pudesse desenvolver uma discussão em nível adequado. Entretanto, objetiva-se utilizar esta ideia (explorar o perfil epistemológicos acerca do conceito de espaço em disciplinas específicas) em projetos futuros.

Defende-se que a ideia da inexistência de uma categoria superior a outra – no sentido de que elas tenham uma relação dialética - deva estar presente nos cursos de formação de professores, concordando com Bachelard:

Pensar corretamente o real é aproveitar as suas ambiguidades para modificar e alertar o pensamento. Dialectizar o pensamento é aumentar a garantia de criar cientificamente fenômenos completos, de regenerar todas as variáveis degeneradas ou suprimidas que a ciência, como o pensamento ingênuo, havia desprezado no seu primeiro estudo. (BACHELARD, 2009).

A supervalorização da racionalidade acarreta em uma aniquilação da capacidade criativa e inventiva, tanto do docente quanto do aluno, pois despreza-se por completo as noções corriqueiras e cria-se a imagem de que

todas as descobertas da histórias da ciência foram feitas segundo a razão fria, por cientistas isolados do mundo e isentos de sentimentos; o que não é verdade. Julga-se que essa é uma das principais lições que a epistemologia de Bachelard (em especial a sua descrição do perfil epistemológico) pode oferecer a educação científica se analisada adequadamente e em consonância com a história da ciência.

As análises das entrevistas e das apresentações mostraram que a ideia do parágrafo acima foi reconhecida pelos estudantes. O senso comum está presente no modo pelo qual todos concebem as coisas em diversas situações, independente da formação intelectual da pessoa. Os implicações dessa consideração para o ensino de ciências vão além da imagem de ciência que se é transmitida em sala de aula. Os professores devem estar concientes de que os alunos chegam nas aulas de ciências com concepções já formadas acerca dos temas que serão tratados, de acordo com sua vivência; e, cabe ao professor traçar estratégias adequadas para que a ruptura entre esse conhecimento cotidiano e o conhecimento científico aconteça de forma dialética. Essa discussão está presente na *Didática das Ciências*, que recebe as denominações de “concepções alternativas” e “mudança conceitual” (SANTOS, 1998), todavia, Bachelard preconizou essas noções, décadas antes de elas serem pensadas em educação em ciências.

Como reflexão final (e geral) que este trabalho proporcionou, fica a ideia de que, enquanto a ciência em sala de aula for tratada como sendo algo linear, anetódico, caricaturesco, enfim, trabalhada segundo uma imagem distorcida; a reação do aluno ao entrar em contato com o conteúdo não será outra senão aquela caracterizada pela falta de atenção, ou mesmo o completo desprezo pelo conteúdo. De fato, ninguém é obrigado a ser doutrinado em um ambiente, *a priori*, democrático. Muitos professores sabem e concordam com essa ideia, no entanto, não a colocam em prática, não por carência de esforço, mas por estarem imersos no paradigma do ensino tradicional e não terem consciência disso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASTOS FILHO, J.B. Qual história e qual filosofia da ciência são capazes de melhorar o ensino de física?. *In*: PEDUZZI, L.O.Q.; MARTINS, A.F.P.; FERREIRA, J.M.H. (Org.). Temas de história e filosofia da ciência no ensino. Natal: EDUFRN, 2012.

BACHELARD, G. *A filosofia do não*. Lisboa, Editorial Presença, 2009.

_____. *A Formação do Espírito Científico: contribuições para uma psicanálise do conhecimento*. Rio de Janeiro: Contraponto, 2002.

_____. Epistemologia. Textos organizados por Dominique Lecourt. Lisboa: Setenta, 1976.

_____. *O novo espírito científico. Coleção Os pesadores*. São Paulo: Abril Cultural: 1974.

BRASIL. Ministério da educação. Secretaria da educação média e tecnológica. *Parâmetros curriculares nacionais – ensino médio*. Brasília: ministério da educação, 2002.

BOYER, C.B. *História da matemática*. São Paulo: Edgar Blücher, 2003.

CALÇADA, C.S. *Física clássica*. 2 ed. São Paulo: Atual, 1997.

CASSIER, E. *El problema Del conocimiento*. Fundo de cultura econômica. México, 200.

_____. *Indivíduo e Cosmos na Filosofia do Renascimento*. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

CORREA, A. L. ; CALDEIRA, A.M.A . O uso da história e filosofia da biologia

para o ensino de evolução na formação inicial de professores de biologia.. In: Marcelo Carbone Carneiro. (Org.). História e filosofia das ciências e o ensino de ciências.Bauru: 2011, v. , p. 115-133.

DUNNINGTON, G.W. *Carl Frederich Gauss: titan of science*. New York: Hafner publishing, 1955.

EINSTEIN, A., INFELD, L. *A evolução da física – o desenvolvimento das idéias desde os primitivos conceitos até a Relatividade e os Quanta*. Lisboa: Enciclopédia LBL. Título original: The evolution of physics: the growth of ideas from early concepts to relativity and quanta, 1ªedição: 1938.

EL-HANI, Charbel N. (2006). Notas sobre o ensino de história e filosofia da ciência na educação científica de nível superior. In: Silva, C. C. (Org.) Estudos de história e filosofia das ciências.Subsídios para aplicação no Ensino. São Paulo: Ed. Livraria da Física.

EUCLIDES. *Os elementos*. Editora Unesp, 2009. Tradução: Irineu Bicudo.

FERREIRA, J.M.H.; MARTINS, A.F.P. Avaliando a inserção da temática natureza da ciência na disciplina de história e filosofia da ciência no curso de física da UFRN. In: PEDUZZI, L.O.Q.; MARTINS, A.F.P.; FERREIRA, J.M.H. (Org.). Temas de história e filosofia da ciência no ensino. Natal: EDUFRN, 2012.

FREIRE JUNIOR, O. Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil sobre o uso didático de história e filosofia da ciência no ensino de física. In: PEDUZZI, L.O.Q.; MARTINS, A.F.P.; FERREIRA, J.M.H. (Org.). Temas de história e filosofia da ciência no ensino. Natal: EDUFRN, 2012.

GRAY, J. *Ideas of space*.Oxford: Claredon press, 1989.

HEATH, T. *A history of greek mathematics*. New York: Dover publications, 1981.

JAMMER, M. *Concepts of space*. Nova Iorque: Dover, 1993

_____. *Conceitos de espaço*. São Paulo: Contraponto, 2010.

KLINE, M. *Mathematical thought*. Oxford: Clarendon press, 1990.

KUBRUSLY, R.S. Disponível em: <http://www.im.ufrj.br/~risk/diversos/gne.html>. Acessado dia 30/08/2013.

LOPES, A. C. . Bachelard: o filósofo da desilusão. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 13, n.3, p. 178-276, 1996.

LÜDCK, M; ANDRE, M.E.D.A. *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas*. São Paulo: EPU, 1986.

MACH, E. *The science of the Mechanics*. La Sale: Open Court Publishing Co., 1960.

MANZINI, E.J. Entrevistas semi-estruturadas: análise de entrevistas e de roteiros. Disponível em: <http://www.sepq.org.br/Isipeq/anais/pdf/gt3/04.pdf>

MARTINS, A. F. P.. *Concepção dos estudantes acerca do conceito de tempo: uma análise a luz da epistemologia de Gaston Bachelard*. Tese de doutorado, Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo (FE-USP), 2004.

_____. História e Filosofia da Ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. v. 24, n. 1, p. 112-131, 2007.

MARTINS, R.A. Abordagens, métodos e historiografia da ciência. In: MARTINS, A.M. (Org). *O tempo e o cotidiano na escola*. São Paulo: fundação para o desenvolvimento da educação, 1993.

_____ Como não escrever sobre história da física – um manifesto historiográfico. *Revista brasileira de ensino de física*. V. 23, n. 1, p. 113-129, 2001.

_____ Introdução: a história das ciências e seus usos na educação. In: SILVA, C.C. (Org.) *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

MATTHEWS, M. R. *Science teaching: the role of History and Philosophy of Science*. New York: Routledge, 1994.

_____ História, Filosofia e Ensino de Ciências: A Tendência Atual de Reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*. v.12, n.3, p.164 - 241. Florianópolis, dez. 1995.

MLODINOW, L. *A janela de Euclides*. São Paulo: geração editorial, 2010.

MONASTYRSKY, M. *Riemann, topology and physics*. Boston: Birkhouaser, 1999.

NEWTON, Isaac, *Principia: princípios matemáticos de filosofia natural*. V. 1. Tradução: Triseste Ricci. São Paulo: EDUSP, 1990.

NOVELLO, M. *Os jogos da natureza*. Rio de Janeiro: Campus, 2005.

_____ *Do big bang ao universo eterno*. Rio de Janeiro: Zahar, 2010.

OLIVEIRA, M.P.O. et al. Enfrentando problemas da transposição didática da história da ciência para a sala de aula In: PEDUZZI, L.O.Q.; MARTINS, A.F.P.;

PEDUZZI, L.Q.; CORDEIRO, M.D. Um módulo sobre a transposição didática: sua história e sua transposição didática. In: PEDUZZI, L.O.Q.; MARTINS,

A.F.P.; FERREIRA, J.M.H. (Org.). Temas de história e filosofia da ciência no ensino. Natal: EDUFRN, 2012.

PORTO, C. M. *Uma visão do espaço na mecânica newtoniana e na teoria da relatividade de Einstein*. Revista brasileira de ensino de Física, 2008.

_____. *A Física de Aristóteles: uma construção ingênua?* Revista brasileira de ensino de Física, 2009.

RICARDO, E.C. . A complexidade do movimento local na Física aristotélica. Revista Brasileira de Ensino de Física (Impresso), v. 34, p. 1-8, 2012.

ROSA, K ; MARTINS, M. C. M. . A inserção da História e da Filosofia da Ciência no currículo de licenciatura em Física da Universidade Federal da Bahia: uma visão de professores universitários. *Investigações em Ensino de Ciências*. (Online), v. 12, p. 2, 2007.

RUFATTO, C.A. ; CARNEIRO, M. C. . A Importância da História e Filosofia das Ciências para o Ensino de Ciências. In: Carneiro, M.. (Org.). *História e Filosofia das Ciências e o Ensino de Ciências*. 1ed.São Paulo: Cultura Acadêmica - Editora da UNESP, 2011, v. 1, p. 29-206.

SANTOS, M.E. *Mudança conceptual em sala de aula: um desafio pedagógico*. Lisboa: Novo horizonte, 1998.

SILVA, C.C.. Em direção a uma efetiva inserção de história e filosofia no ensino de ciências. In: Garcia,N. M. D. *et Al. A pesquisa em ensino de física e a sala de aula: articulações necessárias*. São Paulo: livraria da física, 2012.

SILVEIRA, F. L; OSTERMANN, F. A insustentabilidade da proposta indutivista de descobrir a lei a partir de resultados experimentais. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*.v.19, n.especial, p.7-27. Florianópolis, 2002.

TOZONI-REIS, M. F.C. *Metodologia de pesquisa científica*. Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2007.

VROOMAN, J. René Descartes. New York: G. P. Putnam's Sons, 1970.

WILFORD, J. N. *The Mapmakers*. New York: Vintage Books, 2001.

ZANETIC, J. Física também é Cultura. 1989. Tese (Doutorado em Educação) Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo.

APÊNDICES

CONCEPÇÕES DE ESPAÇO – Questionário 1

Este questionário tem por objetivo subsidiar uma pesquisa de Mestrado, investigando a concepção de espaço nos graduandos em Física. A análise é impessoal e a identidade dos participantes será preservada. Solicitamos, gentilmente, o preenchimento e, desde já, agradecemos sua participação!

Nome: _____

1. Por favor, responda com suas próprias palavras: a) Como você definiria a palavra “espaço”. b) Qual a utilidade ou importância deste conceito para a Física?

Agradecemos sua participação

CONCEPÇÕES DE ESPAÇO – Questionário 2

Este questionário tem por objetivo subsidiar uma pesquisa de Mestrado, investigando a concepção de espaço nos graduandos em Física. A análise é impessoal e a identidade dos participantes será preservada. Solicitamos, gentilmente, o preenchimento e, desde já, agradecemos sua participação!

Nome: _____

2. Dentre as opções abaixo, qual é aquela que melhor caracteriza o espaço?
- a) Designa a posição do objeto, ou seja, é a medida da trajetória partindo da origem até o local onde se encontra o objeto;
 - b) Relaciona-se com aquilo que é observável; é absoluto e; está relacionado à uma região do cosmo;
 - c) É responsável por interações mecânicas e/ou eletromagnéticas e, porventura recebe o nome de “campo”;
 - d) É um “ente” vinculado ao “tempo” e é responsável por consideráveis efeitos no macrocosmo.

OBS: Mais de uma alternativa pode ser escolhida, entretanto, ordene-as pelos números (de 1 a 4), segundo a consistência das respostas (da “mais correta” para a “menos correta”).

Para as questões seguintes, escolha a alternativa que mais se aproxima da ideia que você faz sobre o “espaço”. Marque a alternativa que você carrega dentro de si, sem preocupar se ela está correta ou incorreta.

3. O espaço é determinado melhor:
- a) Pela experiência dos sentidos;
 - b) Pelos fenômenos da natureza;
 - c) Pela matemática (no caso, pela geometria);
 - d) Por Deus, ou por uma outradivindade;
 - e) Por nada disso, o tempo não pode ser determinado.
4. O Espaço é Infinito
- a) Sim
 - b) Não
5. O espaço pode interagir com outros objetos e ser responsável por fenômenos físicos?
- a) Sim
 - b) Não
6. O espaço pode se relacionar com outros conceitos (como tempo, força, etc.)
- a) Sim
 - b) Não

7. Um livro de física adotado no ensino médio define espaço da seguinte forma:

“Espaço (S) é um número real que permite a localização do móvel em sua trajetória”

Você concorda, ao menos parcialmente, com esta definição?

- a) Sim
 - b) Não
8. A noção de espaço está presente nas teorias da física moderna e contemporânea?
- a) Sim
 - b) Não

Pensando nas questões anteriores, por favor, responda:

Quais características são imprescindíveis na definição de espaço na Física?

Obrigado pela sua participação!!!