



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

KAROL DE ALMEIDA SANTOS

Proposta de um *software* para apoio ao aprendizado do planejamento de experimento

Guaratinguetá - SP

2017

KAROL DE ALMEIDA SANTOS

Proposta de um *software* para apoio ao aprendizado do planejamento de experimento

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Dr. Antônio Fernando Branco Costa

Co-orientador: Prof. Dr. Antônio Faria Neto

Guaratinguetá - SP

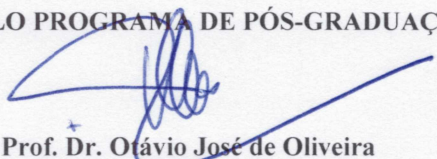
2017

KAROL DE ALMEIDA SANTOS

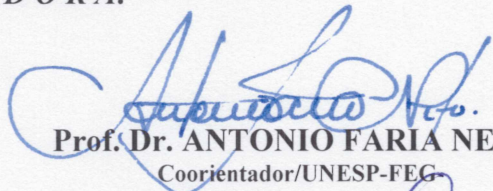
**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO”**

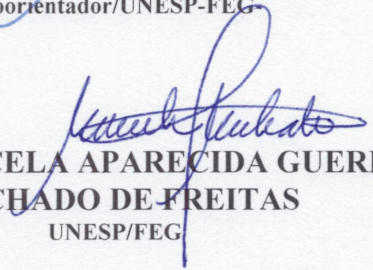
**PROGRAMA: ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO: MESTRADO ACADÊMICO**

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Otávio José de Oliveira
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. ANTONIO FARIA NETO
Coorientador/UNESP-FEG


Prof.^a. Dr.^a. MARCELA APARECIDA GUERREIRO
MACHADO DE FREITAS
UNESP/FEG


Prof. Dr. FABRÍCIO MACIEL GOMES
EEL/USP

Julho de 2017

DADOS CURRICULARES

KAROL DE ALMEIDA SANTOS

NASCIMENTO: 10/08/1980 – LORENA /SP

FILIAÇÃO: FRANCISCO RIBEIRO DOS SANTOS

LÚCIA MARIA DE ALMEIDA SANTOS

2004/ 2007 Curso de Graduação:
Administração de Empresas com ênfase em Comércio Exterior –
UNISAL – Lorena/SP

2007/2012 Analista de Planejamento – Amsted Maxion – Cruzeiro/SP

2012 (atual) Analista de Planejamento – Nissan – Resende/RJ

S237p	Santos, Karol de Almeida Proposta de um software para apoio ao aprendizado do planejamento de experimento / Karol de Almeida Santos – Guaratinguetá, 2017. 53 f : il. Bibliografia: f. 48-53 Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2017. Orientador: Prof. Dr. Antônio Fernando Branco Costa Co-orientador: Prof. Dr. Antônio Faria Neto 1. Planejamento experimental. 2. Software – Desenvolvimento. 3. Estatística. I. Título CDU 519.242(043)
-------	---

Aos meus pais, pela compreensão e força, para que eu chegasse a mais essa etapa importante em minha vida, e à minha futura esposa Jiane por fazerem parte dessa fase tão importante na minha vida.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte de vida e graça. Agradeço pela minha vida, minha inteligência, minha família e meus amigos,

aos meus pais *Francisco* e *Lúcia Maria*, por sempre estarem comigo, e por serem torcedores incondicionais em minhas lutas.

à minha futura esposa *Jiane* pela paciência e compreensão, em tantos momentos de dedicação na construção e finalização deste trabalho.

ao meu grande e estimado amigo *Raul Nunziato* pela parceria, longos diálogos e trocas de experiências, que muito me foram oportunas em meu desenvolvimento profissional e pessoal.

aos meus gestores e colegas da Nissan, pelo incentivo e compreensão durante a dissertação.

ao meu orientador, *Prof. Dr. Antônio Fernando Branco Costa* e aos meu co-orientador, *Prof. Dr. Antônio Faria Neto*, pelos momentos de aprendizado durante o curso e a dissertação, com experiências fantásticas e dicas que permitiram repassá-las para a dissertação e que, certamente, levarei comigo, para o resto da vida.

“A cabeça que encontra a solução é a mesma que elabora o problema.”

Leandro Karnal

RESUMO

A Engenharia apresenta como uma de suas características, a necessidade de investigação de sistemas, para se obter o máximo de resultado destes. E Planejamento de Experimento é um método, que pode suportar esta necessidade, porém a complexidade intrínseca ao método cria barreiras no entendimento, e conseqüentemente no uso, podendo se considerar a estatística um dos agentes mais significativos, portanto faz-se necessário utilizar abordagens mais eficientes, para o ensino deste método. As tradicionais abordagens pedagógicas não se mostram suficientes para favorecer a assimilação da essência do Planejamento de Experimento, pois ou seu foco se direciona quase que totalmente a estatística ou, quando se usa recursos tecnológicos, a ferramenta se torna protagonista, por se tratar de *softwares* complexos para análises, e adequado ao uso por especialistas. Assim essa dissertação vem com o objetivo de propor um *software* com características essencialmente didáticas, que venha a preencher esta lacuna, o qual foi denominado “*The Cake*”, metáfora que faz alusão à variabilidade total de um experimento, e que tem suas partes tomadas pelos efeitos controláveis e incontroláveis. Desta forma, este *software* foi desenvolvido, buscando interfaces amigáveis e similares aos livros texto, para ser de fácil uso e proporcionar interação com o usuário, e apresentar as análises de maneira gradativa.

PALAVRAS-CHAVE: Planejamento de Experimentos. *Software* de ensino. *Software* de Planejamento de Experimento. Estatística.

ABSTRACT

The Engineering presents as one of its characteristics, the need of investigation of systems, in order to obtain the maximum result of these. Design of Experiments is a method that can support this need, but the intrinsic complexity of the method creates barriers in its understanding, and consequently on the use and statistic can be considered one of the most significant agents, therefore it is necessary to use more efficient approaches, for the teaching of this method. The traditional pedagogical approaches are not sufficient enough to favor the assimilation of the essence of Design of Experiments, since its focus is almost entirely on statistics or, when using technological resources, the tool becomes a protagonist because it is software complex for analysis, and suitable for use by specialists. So this dissertation comes with the objective of proposing software with characteristics essentially didactic that will fill this gap, which was denominated "The Cake", metaphor that alludes to the total variability of an experiment, and that has its parts taken by the controllable and uncontrollable effects. In this way, this software was developed, searching for friendly interfaces and similar to text books, to be easy to use and provide user interaction, and present the analyses in a gradual way.

KEYWORDS: Experiment Planning. Teaching software. Experiment Planning Software. Statistic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação Gráfica dos pontos fatoriais de um planejamento 2^2 .	19
Figura 2 – Representação Gráfica das Combinações entre os níveis de um Fatorial 2^3 .	20
Figura 3 – Representação Gráfica de um Fatorial 2^3 destacando-se os planos dos níveis dos fatores.	22
Figura 4 – Representação Gráfica com destaque nos níveis de cada interação.	23
Figura 5 – Representação Gráfica de um Fatorial 2^3 destacando os tratamentos + e – do efeito ABC.	24
Figura 6 – Fluxo de análise.	32
Figura 7 – Interface Parametrização do Experimento.	34
Figura 8 – Interface Matriz Experimento.	34
Figura 9 – Interface Entrada dos Resultados.	35
Figura 10 – Interface Entrada de Resultados [Visão Geral].	36
Figura 11 – Interface Soma dos Quadrados.	36
Figura 12 – Interface Bolo.	37
Figura 13 – Interface ANOVA.	38
Figura 14 – Interface Análise Gráfica.	39
Figura 15 – Interface Classificação dos Fatores.	40
Figura 16 – Interface Análise dos Resíduos.	41
Figura 17 – Interface Método <i>Tukey</i> .	42
Figura 18 – Interface Matriz Simétrica.	42
Figura 19 – Interface Tamanho da Amostra.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Matriz Experimental 2^2	19
Tabela 2 – Matriz Experimental 2^3	20
Tabela 3 – Fatores do cálculo do efeito AB.	23
Tabela 4 – Tabelas dos sinais dos efeitos principais e de interação em um Fatorial 2^3	24
Tabela 5 – Representação dos dados de um experimento de fator único.	25
Tabela 6 – Tabela da análise de variância (ANOVA) para um único fator.	26
Tabela 7 – Tabela da análise de variância (ANOVA) para dois fatores.	27
Tabela 8 – Matriz experimento do processo de envase.	33

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVO	12
1.2	JUSTIFICATIVA.....	12
1.3	DELIMITAÇÃO	13
2	REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1	ESTADO DA ARTE	14
2.2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.2.1	Planejamento Fatorial 2^k	18
2.2.2	Calculo dos Efeitos	21
2.2.3	Análise de Variância	25
2.2.4	Modelo de Regressão.....	27
2.2.5	Comparação entre médias pelo método de <i>Tukey</i>	29
2.2.6	Verificação da adequação do tamanho da amostra	30
3	“THE CAKE” CARACTERÍSTICAS	32
3.1	FLUXO DAS ANÁLISES DO “THE CAKE”	32
3.2	eXEMPLO UTILIZADO	33
3.3	PARAMETRIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	33
3.4	ENTRADA DOS RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS	35
3.5	VARIABILIDADE E ANÁLISE DE VARIÂNCIA	36
3.6	ANÁLISE DOS RESÍDUOS.....	39
3.7	COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS PELO MÉTODO DE <i>TUKEY</i>	41
3.8	VERIFICAÇÃO DA ADEQUAÇÃO DO TAMANHO DA AMOSTRA	43
4	Aplicação do <i>software</i> e coleta de opinião dos usuário.....	44
5	Conclusão	47
	REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

Ambientes de pesquisa sejam este um laboratório, uma planta piloto ou até mesmo uma fábrica em pleno funcionamento são meios que surgem muitos questionamentos, cada qual com sua particular característica, mas todos com necessidades comuns de respostas, que possibilite um alto grau de entendimento, idealizações de modelos matemáticos, determinações de parâmetros assertivos ou mesmo uma melhor compreensão do que acontece no sistema.

Montgomery (2010) afirma que Planejamento de Experimentos é uma importante ferramenta do mundo da engenharia, por melhorar Desempenho em processos de manufaturas e da mesma forma, por ter extensa aplicação no desenvolvimento de novos processos. O uso do Planejamento de Experimento nesta área resulta em produtos que serão mais facilmente produzidos, produtos com melhores desempenhos, baixo custo de produção em um curto tempo de planejamento de desenvolvimento.

Mas como colocado por Youssef (1998), prévias experiências mostram que, aspectos conceituais do Planejamento de Experimentos são de alguma maneira, difícil de ser rapidamente e eficientemente assimilados por estudantes.

Anderson (1999) afirma que muitos engenheiros resistem ao uso do Planejamento de Experimentos por precisar da estatística, de planejamento e disciplina. E Tanco (2009) reafirma que engenheiros e cientistas raramente usam a estatística, pois argumentam que é excessivamente influenciada pelos métodos matemáticos ao invés do método científico.

Uma reformulação pedagógica nos cursos e nas universidades, onde passem a ser trabalhada, com maior ênfase e mais clareza, os conceitos do método Planejamento de Experimento como da Estatística, favorece o entendimento do assunto, minimizando as barreiras do desconhecido e favorecendo a difusão e valorização da técnica.

Enns (2008), salienta que a abordagem mais comum no ensino do Planejamento de Experimento é por meio do uso de livros textos, e estes são essencialmente estatístico ofuscando entendimento dos conceitos.

Diante das dificuldades no ensino do Planejamento de Experimentos, vem a proposta da construção de um *software*, com características essencialmente didáticas, que busca promover interação e consequente motivação.

Como afirmado por Malara (2008), o desenvolvimento conceitual é favorecido com o uso de ferramentas tecnológicas, que podem ser usadas na resolução de problemas reais, pois estas ferramentas criam um novo ambiente de aprendizagem.

O uso de *softwares* enfatiza a interpretação dos resultados obtidos, permitindo que os esforços se deem ao entendimento dos conceitos e não aos meios, para se chegar ao resultado. Isso diminui a complexidade no entendimento e igualmente permite que, os dados sejam visualizados e analisados de diversas formas.

Existem várias categorias de *software* estatístico, e há uma sobreposição de capacidades destas ferramentas estatísticas, entre as diversas categorias existentes, mas nenhuma ferramenta aparentemente cobre todas as possibilidades no uso educacional (BEN ZVI, 2000).

Observando que, o uso de um *software* estatístico existente no meio educacional, não é o mais apropriado, foi proposta a criação de um *software* com características, que permita que o Planejamento de Experimentos seja entendido como uma ferramenta de análise de dados, com um equilíbrio entre as técnicas e os significados dos conceitos, e evitando-se que seja considerado pelos alunos como um “amontoado” de equações matemáticas. Outro ponto relevante ao porquê da proposta é trazer a simplicidade no uso do *software*, isto para que o foco não seja perdido, e o aluno direcione seus esforços aos conceitos, e entenda o que está acontecendo em cada resposta fornecida, assim evitando que este *software* proposto seja uma caixa preta.

1.1 OBJETIVO

O objetivo desta dissertação é apresentar o *software* “*The Cake*”, como uma ferramenta de estudo que proporciona um ambiente de aprendizado, possibilita a resolução e verificação dos exercícios e provoca interação e consequente motivação, assim complementando os materiais trabalhados em um curso de Planejamento de Experimentos.

1.2 JUSTIFICATIVA

Segundo Moore (1997), o processo de aprendizagem pode ter uma maior efetividade, quando o conteúdo que está em pauta, a forma como este é trabalhado e a tecnologia auxiliem-se mutuamente de forma balanceada.

O autor Ben Zvi (2002) afirma que, o emprego adequado da tecnologia proporciona mudanças estruturais no sistema de atividades cognitivas dos estudantes, ocasionando rearranjo do trabalho mental, direcionando a atividade para um nível cognitivo mais alto.

Reforçando este prisma, Tay e Butler (1999) mencionam que, muitos *softwares* são como catálogos formados em módulo padrão, sem uma sequência lógica, podendo conduzir a errôneas

aplicações do método estatístico, além de serem pobres para se lidar com características técnicas particulares, este está se referindo ao uso pelo leigo, que está buscando a formação de seu entendimento.

Para Nickerson (1995) ferramentas tecnológicas, especialmente projetadas para o ensino da Estatística, podem ser desenvolvidas para apoiar a construção ativa do conhecimento; criar ambiente que possibilitam a reflexão do fenômeno observado; desenvolver capacidades metacognitivas, ou seja, o conhecimento sobre o seu próprio processo de pensamento.

A ideia da criação do “*The Cake*” vem em trazer um ambiente, que tenha características envolventes, com interfaces simples, que possibilite ao usuário uma percepção dos conceitos básicos do método Planejamento de Experimento.

1.3 DELIMITAÇÃO

Este trabalho está delimitado a experimentos de até dez fatores, onde cada fator se restringe ao limite de cinco níveis, podendo realizar no máximo cinco réplicas.

A possível análise que o “*The Cake*” proporciona são as análises de variabilidade, análise de resíduos pelo método da Regressão, onde é fornecido o modelo, e pelas diferenças entre as medias, comparação entre as medias, usando o método *Tukey* e a verificação do tamanho da amostra, fornecendo o valor Beta.

Para as limitações técnicas o uso de um programa chamado “*XLS to EXE*” aliado ao compilador *OpenOffice* 4.1.1 e a declaração da função *PtrSafe*, função esta que permite o uso de dados 64 bit por uma versão 32 bit, limitou o uso do “*The Cake*” a versão 2010 do Microsoft Excel.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Esta dissertação buscou na literatura, evidências do cenário do ensino do método Planejamento de Experimentos, assim como sua relevância no mundo da Engenharia. Em uma segunda etapa, se buscou a teoria deste método, para que a proposta se apoie, e assim alcance o objetivo.

2.1 ESTADO DA ARTE

Ilzarbe, Álvarez, Viles e Tanco (2008), apresentaram um estudo mostrando 77 casos práticos da aplicação do Planejamento de Experimentos no campo da engenharia, enfatizando que, esta é uma poderosa técnica de melhoria de produto e processo e que é mais bem executada quando conduzida em equipe, na qual os membros devem ser profundos conhecedores da técnica estatística e igualmente das características técnicas do processo. Entre os tipos de experimentos mais empregados na prática estão a Matriz Ortogonal de Taguchi, Fatorial completo e Fatorial Fracionado. Em muitos destes experimentos é possível o uso de técnicas de análises estatísticas mais complexas, apresentando menor custo, por ser necessário menor número de experimento, mas o que impede o uso destas técnicas mais complexas é a falta de conhecimento da estatística.

Tanco, Viles, Álvares e Izarbe (2009) discutiram algumas dificuldades, encontradas pelos engenheiros na aplicação da técnica de Planejamento de Experimento, e foram identificadas diversas barreiras para sua aplicação, entre as quais, destacam-se a resistência dos gestores ao uso de técnicas diferentes das comumente empregadas, o pouco conhecimento do método por parte dos engenheiros da empresa e o fraco suporte dos *softwares* aos usuários.

Tanco, Viles, Álvares e Izarbe (2010) reafirmam que, uma das principais barreiras à aplicação do Planejamento de Experimentos na indústria é a insuficiência dos recursos, apresentados nos *softwares* comerciais para atender as características dos experimentos, podendo conduzir a errôneas aplicações do método. Estes *softwares* possuem pobres características técnicas, não atendendo todas as etapas do Planejamento de Experimentos para aplicação em indústria.

Justificamos que o Planejamento de Experimentos é importante, e sua aplicação na indústria está limitada pela falta de compreensão pelos engenheiros experimentadores e pela carência de *softwares*, capazes de auxiliar na aplicação do método. Muito desta falta de capacidade de compreensão do método decorre, de uma formação acadêmica deficiente na

compreensão e aplicação deste método. Deficiência que se arrasta, em geral, quando o assunto é a Estatística. Sendo, portanto, necessário desenvolver métodos e abordagens mais eficiente para o ensino desta disciplina.

Moore (1997) enfatiza a importância da sinergia entre conteúdo, pedagogia e a tecnologia que, devem compor os novos currículos, atentando para o fato de que a ferramenta não deva ocupar o papel principal, no processo de ensino-aprendizagem.

Beauchamp e Youssef (1998) afirmavam que, poucos participantes do curso de Planejamento de Experimentos sentiam-se envolvidos pela disciplina. Isto devido ao grande número de equações abstratas e conceitos estatísticos. Perdiam-se os aspectos práticos, e o tema parecia não ter aplicação prática. Desejava-se aprender as técnicas de planejamento e suas aplicações sem se ater demasiadamente à matemática envolvida. Assim, os treinamentos passaram a ser auxiliados pelo uso de planilhas eletrônicas, endereçadas aos planejamentos mais utilizados (fatorial completo, fatorial de triagem, fatorial fracionário e arranjos de Taguchi).

J. Maltby (2001) discute a influência dos recursos tecnológicos no aprendizado estatístico. Faz uma síntese, das posições contrárias e a favor dos recursos tecnológicos no ensino da estatística, relata experimentos nessa área e conclui uma ligeira preferência por parte dos alunos, em utilizar recursos informatizados.

Chance, Ben Zvi, Garfield e Medina (2007) afirmaram que, é difícil o ensino da estatística sem empregar algum recurso tecnológico, visto que, a tecnologia possibilita diversas formas de visualizar e explorar os dados. A revolução tecnológica impactou fortemente no ensino da estatística, provavelmente mais do que em muitas outras disciplinas.

Cymrot (2006) traz o uso do Microsoft Excel, no ensino das técnicas de Seis Sigma, onde o Planejamento de Experimentos está inserido. Neste contexto são usadas as rotinas disponíveis no Excel, tais como a análise de Regressão e a ANOVA, entre outras ferramentas do menu Analise de Dados.

Enns (2008) aponta que, a maioria das técnicas de ensino nos cursos de Planejamento de Experimentos, é tradicional, baseadas em livros de estatísticas e aulas expositivas. Então, foi desenvolvida uma planilha em Excel aliada ao VBA, para que os alunos de um curso de graduação e pós-graduação, resolvessem problemas ligados à otimização, no modelo de determinação dos melhores lotes de produção em um processo. A ferramenta ajuda a geração rápida e simples de dados de problemas, com um ou dois fatores. As relações subjacentes são baseadas em aproximações de enfileiramento, para um ambiente de produção de lote em uma única etapa. Os níveis dos fatores estão relacionados aos tamanhos dos lotes de produtos, e a

resposta é assumida como tempos médios de fluxo de lote. A variabilidade devida à replicação é emulada por amostragem de uma distribuição estatística. Os pacotes de *software* estatísticos podem ser usados para gerar modelos lineares ou quadráticos, a partir dos resultados gerados. Esta planilha foi trabalhada na resolução dos problemas em laboratórios, e para resoluções de exercícios para ajudar o usuário a experimentar a natureza iterativa e interativa do Planejamento de Experimentos.

Lye (2014) aponta as dificuldades em ensinar o Planejamento de Experimentos, e enfatiza o fato de que, esta tarefa é facilitada pela utilização de *softwares* apropriados, tais como o GolferApp e o DOE-SIM Pro. Aplicativos desenvolvidos especialmente para iPhone/iPad, que foram apresentados a estudantes e especialista da indústria tendo uma boa aceitação. Um dos *softwares*, mencionados por Lye, chamado GolferApp, desenvolvido em 2013, simula um brinquedo clássico e conhecido que é usado nas aulas, que executa uma tacada de golfe, possibilitando trabalhar mais do que quatro fatores: tamanho do braço do taco; peso do braço do taco; angulo da batida; tipo do carpete; e tem como resposta a distância percorrida pela bola. Um segundo *software*, chamado DOE-SIM Pro, desenvolvido em 2012 contém 10 experimentos, que simulam processos multifatoriais, que podem ser usados para conduzir vários experimentos, servindo como apoio em um curso, que trata dos princípios de Planejamento de Experimento, e pontos chave de um estudo seis sigma. Este aplicativo tanto possibilita a simulações de processo, gerando por meio de modelos matemáticos, dados para análises, como a verificação de um planejamento de um experimento.

Fontdecaba, Grima, Tort-Mertorell (2014) fez uma avaliação dos cinco *softwares* estatísticos mais conhecidos, JMP, Minitab, SigmaXL, *Statgraphics Centurion XVI* e *Statisc*, levando em consideração as respostas geradas para análise de significância, de um experimento fatorial completo sem réplicas. Dentro deste contexto foi evidenciado que cada um destes *softwares* considera um critério diferente para a análise dos experimentos, e consequentemente apresentam resultados diferentes, o que causa certa confusão quando utilizados por não especialistas, podendo conduzir a interpretações errôneas. Tal fato leva ao questionamento da eficácia do uso destes *softwares* no auxílio ao ensino.

Essa revisão salientou que, não obstante a importância do Planejamento de Experimentos, este poderia ser mais amplamente empregado se os conceitos estatísticos de que faz uso, fossem mais bem compreendidos pelo seu público alvo. Algumas dificuldades foram, em parte, minimizadas pelo uso complementar de *softwares* no ensino desta disciplina. Isto se deve ao fato de que os *softwares* podem reduzir o tempo gasto com os cálculos e quando se tira a complexidade do cálculo torna-se mais fácil compreender os resultados das análises. Contudo,

não se pode concluir, que os conceitos estatísticos ficaram evidentes e claros. Corre-se o risco de criar uma falsa sensação de conhecimento pela eliminação da complexidade dos cálculos, quando do emprego de um programa computacional.

Um ponto perigoso que pode aflorar é a ilusão de que, se tiver o domínio do *software* a estatística esta consequentemente entendida. Há que se desenvolver um recurso tecnológico que minimize os cálculos, mas que simultaneamente procure evidenciar conceitos estatísticos, o que é fundamental para auxiliar na construção do conhecimento pleno do Planejamento de Experimentos.

Embora existam diversos *softwares* comerciais, largamente empregados no mercado, todos apresentam fartos recursos, que confundem os menos experientes, fazendo com que sejam aplicados mecanicamente, dificultando, desta forma, a sua aplicação como recurso didático.

Esta dissertação vem preencher esta lacuna apresentando um *software*, que evidencia de maneira clara alguns conceitos estatísticos básicos, aplicados ao Planejamento de Experimentos e que da mesma forma possui como premissa, oferecer interfaces com *layout* familiar aos livros textos. Como exemplo, pode-se citar o teste de comparações entre médias onde o resultado é apresentado na forma de uma matriz simétrica, para que o usuário não tenha dúvidas na interpretação dos resultados. Aliado a estas características, foi tomado o cuidado de apresentar de forma gradativa, os conceitos envolvidos nas diversas técnicas estatísticas apresentadas neste pacote, pois o usuário navega seguindo um fluxo, e não em módulos distintos como nos *softwares* comerciais.

Nesta primeira versão, este *software* compreende a possibilidade de apresentar graficamente os conceitos de variabilidade, tradicionalmente apresentados sob a forma de uma tabela, quando se procede a análise de variância (ANOVA), permitindo que, o experimentador iniciante entenda que a variabilidade de um experimento é um montante único, e que se pode ilustrar a participação dos fatores neste todo, restando ao erro o que não se pode determinar.

Quando se trata de um experimento Fatorial 2^k , a variabilidade da resposta é ilustrada graficamente, com a probabilidade acumulada, diferentemente dos *softwares* comerciais, mostrando o quanto os efeitos principais e interações se destacam.

Na formação dos modelos para a análise dos resíduos, este *software* leva em consideração se os fatores são qualitativos ou quantitativos, e então direciona a análises de resíduos para o método correto.

A comparação entre as médias, e realizadas pelo método *Tukey*, fielmente apresentado como nos livros textos, apresentando a matriz de distâncias destacando os valores significativos.

Outro marco importante, deste *software* é a possibilidade de confirmar se o tamanho da amostra utilizada no experimento foi adequado, de acordo com as curvas operacionais características, segundo os procedimentos descritos nos livros textos, sem o uso de ábacos.

2.2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo descreve o planejamento Fatorial 2^k bem como os elementos de análise, que foram aplicados na construção do *software* educativo, proposto como objetivo principal desta dissertação. Dentre os quais se destacam o cálculo dos efeitos principais e das interações; a análise da variabilidade correspondente aos fatores; a análise de variância (ANOVA); a comparação das médias da variável resposta, para os diversos tratamentos, pelo método de *Tukey* e a verificação da adequação do tamanho da amostra, por meio da distribuição Beta.

2.2.1 Planejamento Fatorial 2^k

A realização de experimentos objetiva compreender como a variável resposta é afetada pela variação dos fatores (efeito principal), e por suas interações. Jiju (2003) afirma que, o planejamento fatorial é o método mais adequado para a compreensão dos efeitos principais, e interações na resposta de um sistema ou processo, visto que permite a investigação simultânea de mais de um fator e suas interações.

Por planejamento fatorial entende-se a sequência de experimentos, que leva em consideração todas as combinações possíveis de todos os fatores que estão sob investigação.

Num planejamento fatorial 2^k o efeito de cada fator é estudado em dois níveis, o nível baixo (-) e o nível alto (+), ou seja, a variável resposta é observada para cada uma das combinações dos fatores por meio de 2^k experimentos. Cada experimento pode ser realizado mais de uma vez, o que recebe o nome de réplica. Neste caso o número total de experimentos, dependerá do número de réplicas desejado. Os diversos experimentos são organizados na forma de uma matriz, denominada matriz experimental, onde cada linha, denominada tratamento, é formada por uma combinação dos níveis dos fatores.

Os tratamentos, ou pontos fatorais, podem ser representados por (1), *a*, *b*, *ab* onde a presença de uma letra indica que, o fator correspondente está em seu nível alto e a ausência de uma letra, que o fator correspondente está em seu nível baixo. (1) é usado para indicar que todos os fatores estão em seu nível baixo.

A Tabela 1 ilustra a matriz experimental, para um planejamento fatorial com dois níveis e duas réplicas, onde as respostas aos diversos tratamentos são representadas por y_{ij} , onde i é o tratamento e j a réplica.

Tabela 1 – Matriz Experimental 2^2 .

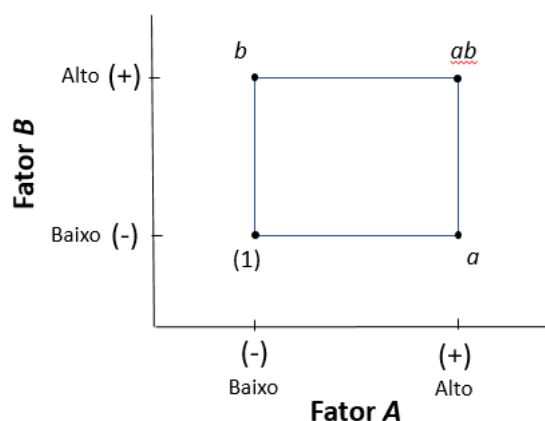
Tratamento	Fatores		Réplicas	
	<i>A</i>	<i>B</i>	1	2
(1)	-	-	y_{11}	y_{12}
<i>a</i>	+	-	y_{21}	y_{22}
<i>b</i>	-	+	y_{31}	y_{32}
<i>ab</i>	+	+	y_{41}	y_{42}

Fonte: Adaptado de Jiju (2003).

Pode-se observar na Tabela 1 que, o planejamento fatorial 2^2 permite avaliar os efeitos principais de cada fator, bem como a sua interação.

A Tabela 1 também pode ser representada graficamente, conforme indicada na Figura 1.

Figura 1 – Representação Gráfica dos pontos fatoriais de um planejamento 2^2 .



Fonte: Adaptado de Jiju (2003).

De forma análoga ao planejamento Fatorial 2^2 , o planejamento Fatorial 2^3 (três fatores avaliados em dois níveis cada), se vale das mesmas convenções e da mesma forma, pode ser sintetizado em uma matriz experimental, Tabela 2.

Tabela 2 – Matriz Experimental 2³.

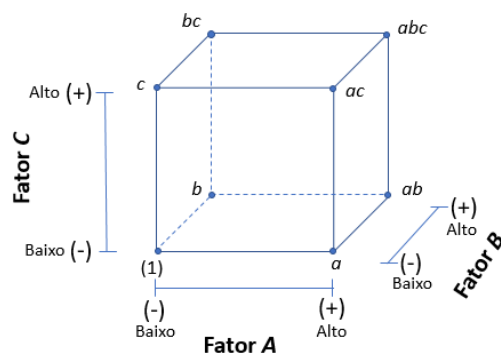
Tratamentos	Fatores			Réplicas	
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	1	2
(1)	-	-	-	y ₁₁	y ₁₂
<i>a</i>	+	-	-	y ₂₁	y ₂₂
<i>b</i>	-	+	-	y ₃₁	y ₃₂
<i>ab</i>	+	+	-	y ₄₁	y ₄₂
<i>c</i>	-	-	+	y ₅₁	y ₅₂
<i>ac</i>	+	-	+	y ₆₁	y ₆₂
<i>bc</i>	-	+	+	y ₇₁	y ₇₂
<i>abc</i>	+	+	+	y ₈₁	y ₈₂

Fonte: Adaptado de Jiju (2003).

Observando a Tabela 2 pode-se concluir que, o planejamento fatorial 2³ permite avaliar o efeito principal dos três fatores, e três interações de segunda ordem (AB, AC e BC), e uma interação de terceira ordem (ABC).

Como exemplo do que ocorreu para o planejamento Fatorial 2² também a Tabela 2 pode ser representada graficamente, Figura 2.

Figura 2 – Representação Gráfica das Combinações entre os níveis de um Fatorial 2³.



Fonte: Adaptado de Jiju (2003).

Generalizando as convenções utilizadas para os planejamentos 2^2 e 2^3 pode-se concluir que, o planejamento fatorial 2^k permite estudar o efeito principal dos k fatores, $\binom{k}{2}$ interações de segunda ordem, $\binom{k}{3}$ interações de terceira ordem, ..., e a interação dos k fatores.

Uma vez conhecida às potencialidades do Planejamento Fatorial, torna-se importante conhecer como os efeitos principais, e as interações podem ser determinados.

2.2.2 Cálculo dos Efeitos

Evidencia Box (2005) que, o efeito principal de um fator é definido como a mudança, na resposta produzida devido a variação do nível do fator.

Box (2005) igualmente afirma que, é possível calcular o efeito principal, pela diferença da média das respostas de um fator no nível alto, pela média das respostas deste mesmo fator no nível baixo.

Sendo assim, um planejamento fatorial 2^2 , com n réplicas (tamanho da amostra), podem ter seus dois efeitos principais calculados conforme equações (1) e (2).

$$A = \bar{y}_{A^+} - \bar{y}_{A^-} = \frac{ab + a}{2n} - \frac{b + (1)}{2n} = \frac{1}{2n} + [ab + a - b - (1)] \quad (1)$$

$$B = \bar{y}_{B^+} - \bar{y}_{B^-} = \frac{ab + b}{2n} - \frac{a + (1)}{2n} = \frac{1}{2n} + [ab + b - a - (1)] \quad (2)$$

O efeito da interação entre os fatores é expresso pela equação (3).

$$AB = \frac{ab + (1)}{2n} - \frac{a + b}{2n} = \frac{1}{2n} + [ab + (1) - a - b] \quad (3)$$

A equação (3) ilustra que, o efeito da interação de segunda ordem pode ser calculado pela diferença da média das respostas dos tratamentos ab e (1) , pela média das respostas dos tratamentos a e b . Se observado na Figura 1, é a média das respostas da diagonal da direita para esquerda [ab e (1)], menos a média das respostas da diagonal da esquerda para direita (a e b).

Box (2005) destaca que, de forma análoga ao planejamento fatorial 2^2 , pode se calcular os efeitos principais e os de interação para um planejamento fatorial 2^3 , o qual apresentará três efeitos principais (A, B e C), três efeitos de segunda ordem (AB, AC e BC) e um efeito de terceira ordem (ABC).

Para este tipo de planejamento fatorial, o cálculo do efeito principal será a diferença entre a média do fator no seu nível alto, pela média do fator no nível baixo, assim como ilustrado nas equações (4), (5) e (6) para os fatores A, B e C respectivamente.

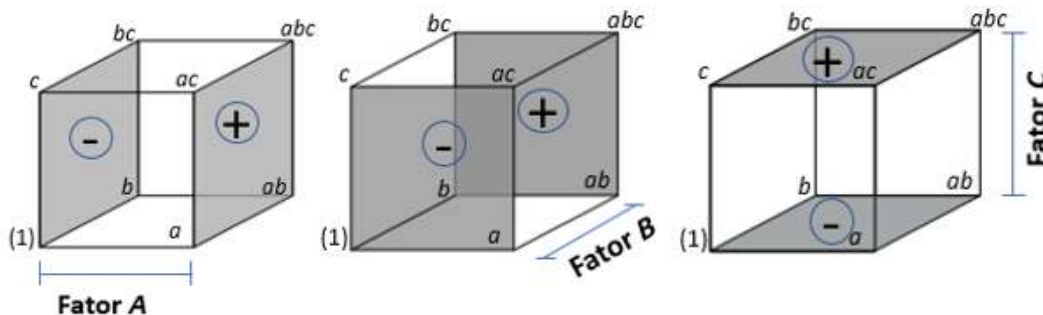
$$A = \bar{y}_{A^+} - \bar{y}_{A^-} = \frac{a + ab + ac + abc}{4n} - \frac{(1) + b + c + bc}{4n} \quad (4)$$

$$B = \bar{y}_{B^+} - \bar{y}_{B^-} = \frac{b + ab + bc + abc}{4n} - \frac{(1) + a + c + ac}{4n} \quad (5)$$

$$C = \bar{y}_{C^+} - \bar{y}_{C^-} = \frac{c + ac + bc + abc}{4n} - \frac{(1) + a + b + ab}{4n} \quad (6)$$

Na Figura 3, pode-se observar a representação gráfica de um fatorial 2^3 destacando os planos dos níveis baixos e níveis altos para cada fator, assim pode-se visualizar que, o efeito de cada fator pode ser calculado pela diferença da média dos tratamentos do plano no nível alto, pela diferença da média dos tratamentos do plano no nível baixo.

Figura 3 – Representação Gráfica de um Fatorial 2^3 destacando-se os planos dos níveis dos fatores.



Fonte: Adaptado de Box (2005).

O efeito da interação de segunda ordem AB pode ser medido pela diferença entre a média do efeito, de A no nível alto de B pela média do efeito de A no nível baixo de B.

A Tabela 3 ilustra os fatores, para o cálculo do efeito da interação AB para se efetuar a diferença, conforme equações (7) e (8).

Tabela 3 – Fatores do cálculo do efeito AB.

Nível B	Média do Efeito A
Nível alto	$\frac{[(abc - bc) + (ab - b)]}{2n}$
Nível baixo	$\frac{\{(ac - c) + [a - (1)]\}}{2n}$

Fonte: Adaptado de Box (2005).

$$AB = \frac{[(abc - bc) + (ab - b)]}{2n} - \frac{\{(ac - c) + [a - (1)]\}}{2n} \quad (7)$$

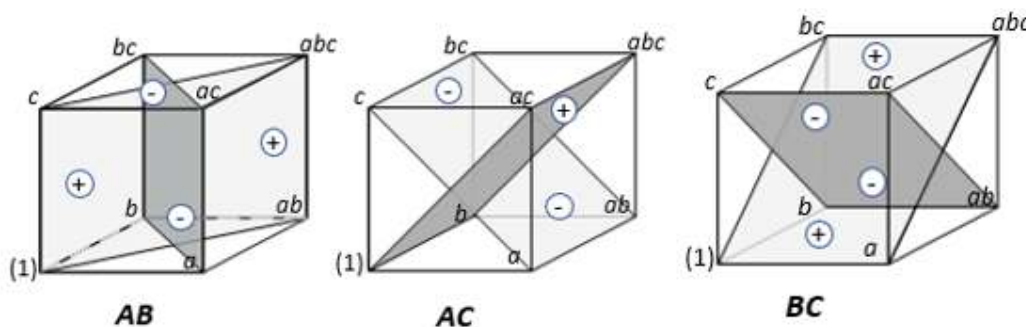
$$AB = \frac{abc + ab + c + (1)}{4n} - \frac{bc + b + ac + a}{4n} \quad (8)$$

A Figura 4 ilustra os cálculos dos efeitos das interações AB, AC e BC, mostrando que, este cálculo se ocorre pela diferença de dois planos diagonais, conforme destacado na representação gráfica. Seguindo a mesma forma do calculo do efeito da interação AB, as Equações (9) e (10) representam os efeitos das interações AC e BC, respectivamente.

$$AC = \frac{(1) + b + ac + abc}{4n} - \frac{c + bc + a + ab}{4n} \quad (9)$$

$$BC = \frac{(1) + a + bc + abc}{4n} - \frac{b + ab + c + ac}{4n} \quad (10)$$

Figura 4 – Representação Gráfica com destaque nos níveis de cada interação.

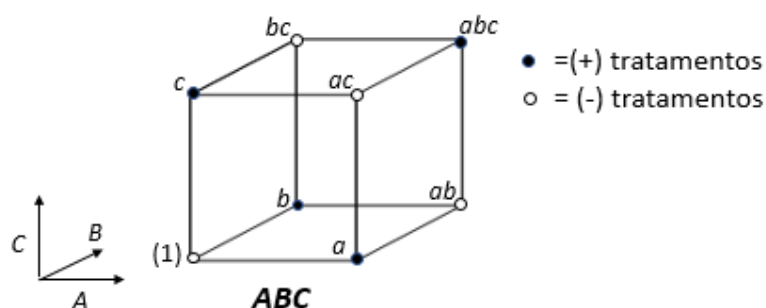


Fonte: Adaptado de Box (2005).

Por fim o cálculo para o efeito da interação de terceira ordem ABC conforme equação (11) efetua-se pela diferença entre o efeito da interação AB, no nível alto de C pelo efeito da interação AB no nível baixo de C, conforme ilustrado pela Figura 5.

$$ABC = \frac{b + a + c + abc}{4n} - \frac{(1) + ab + bc + ac}{4n} \quad (11)$$

Figura 5 – Representação Gráfica de um Fatorial 2^3 destacando os tratamentos + e - do efeito ABC.



Fonte: Adaptado de Box (2005).

Além da ilustração gráfica, que auxilia a visualização dos níveis das interações, pode se determinar os níveis das interações por meio da multiplicação dos níveis dos efeitos, que estão envolvidos nesta interação em cada tratamento.

A Tabela 4 ilustra os níveis dos efeitos e interações, para o planejamento fatorial 2^3 , onde as colunas representam os fatores principais e as interações de segunda e terceira ordem, e as linhas representam os tratamentos em ordem padrão ou ordem de Yates.

Tabela 4 – Tabelas dos sinais dos efeitos principais e de interação em um Fatorial 2^3 .

Tratamentos	Efeito dos Fatores						
	A	B	AB	C	AC	BC	ABC
<i>(1)</i>	-	-	+	-	+	+	-
<i>a</i>	+	-	-	-	-	+	+
<i>b</i>	-	+	-	-	+	-	+
<i>ab</i>	+	+	+	-	-	-	-
<i>C</i>	-	-	+	+	-	-	+
<i>Ac</i>	+	-	-	+	+	-	-
<i>Bc</i>	-	+	-	+	-	+	-
<i>Abc</i>	+	+	+	+	+	+	+

Fonte: Box (2005).

Juntamente com o conhecimento dos efeitos principais e de interação se trabalha a análise de variância, reforçando e complementando o entendimento prévio.

2.2.3 Análise de Variância

Um planejamento onde se deseja comparar os efeitos de a tratamentos pode ser apresentado, conforme a Tabela 5, onde y_{ij} representa a j -ésima observação (ou réplica) para o i -ésimo tratamento (ou combinação de fatores), e $\bar{y}_{..}$ é a média global das observações.

Tabela 5 – Representação dos dados de um experimento de fator único.

Tratamento	Observações				Totais	Médias
1	y_{11}	y_{12}	...	y_{1n}	y_1	$\bar{y}_1$
2	y_{21}	y_{22}	...	y_{2n}	y_2	$\bar{y}_2$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
a	y_{a1}	y_{a2}	...	y_{an}	y_a	$\bar{y}_a$
						$\bar{y}_{..}$

Fonte: Adaptado de Montgomery (2010).

Notabiliza Montgomery (2010) que, a variação das médias é resultante de duas fontes distintas de variabilidade, a saber, os efeitos próprios de cada tratamento e/ou, e os erros aleatórios, que englobam o processo de medição, a variabilidade de fatores incontroláveis, as diferenças entre as réplicas utilizadas para os experimentos, diferenças tais como materiais, e processos de produção, efeitos ambientais, etc.

Portanto, o que se procura durante a fase de análise dos resultados dos experimentos, é verificar se houve tratamentos que produziram resultados estatisticamente diferentes dos demais. Há várias possibilidades para se testar a igualdade das médias de diversos tratamentos, mas, de acordo com Montgomery (2010), a análise de variância (ANOVA) é o procedimento apropriado.

A análise de variância determina se a variabilidade das médias é estatisticamente significativa, a ponto de ser atribuída aos efeitos dos tratamentos, ou se tais variações são provocadas apenas pelos erros aleatórios.

O nome análise de variância provém da decomposição da variabilidade total, em seus diversos componentes. Menciona Montgomery (2010) que, a variabilidade total dos dados pode

ser medida pela soma dos quadrados das diferenças entre cada observação, e a média geral de todas as observações, conforme equação (12).

$$SQ_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2 \quad (12)$$

Essa medida parece ser bastante razoável, uma vez que, a variância amostral da variável resposta pode ser obtida dividindo-se a equação (12), pelo tamanho da amostra (N) menos 1, conforme equação (13).

$$Var(y) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2 \quad (13)$$

Embora a variância seja a medida padrão de variabilidade, a soma dos quadrados das diferenças apresenta a aditividade, como uma de suas propriedades, o que a torna particularmente interessante, para o estudo da contribuição das diversas fontes de variabilidade na variabilidade total da variável resposta.

Manipulando-se (12), pode-se decompor a variabilidade total em duas parcelas conforme equação (14), uma decorrente dos tratamentos, e a outra dos erros experimentais.

$$SQ_T = SQ_{TRATAMENTOS} + SQ_{ERROS} \quad (14)$$

Os resultados da análise de variância podem ser sintetizados como na Tabela 6.

Tabela 6 – Tabela da análise de variância (ANOVA) para um único fator.

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Médias Quadráticas	F_0
Tratamentos	$SQ_{TRATAMENTOS}$	$a - 1$	$MQ_{TRATAMENTOS}$	$\frac{MQ_{TRATAMENTOS}}{MQ_{ERRO}}$
Erro	SQ_{ERRO}	$N - a$	MQ_{ERRO}	
Total	SQ_{TOTAL}	$N - 1$		

Fonte: Adaptado de Montgomery (2010).

Observa-se que, a Tabela 6 considera as fontes de variação, que são os tratamentos envolvidos, as parcelas da variabilidade e seu total, os graus de liberdade, as variâncias e a distribuição F_0 com $a - 1$ e $N - 1$ graus de liberdade, onde essa distribuição é o teste estatístico, para aceite ou não em um teste de hipótese.

Para a distribuição F_0 pode-se entender que, a média quadrática do tratamento ou do erro de forma independente, não são suficientes para determinar que, a hipótese nula é falsa, porém espera-se que, a relação da $MS_{TRATAMENTOS}$ pelo MS_{ERRO} se obtenha uma grandeza maior que a distribuição $F_{\alpha, a-1, N-a}$, encontrado nas tabelas, se assim for, pode-se rejeitar a hipótese nula, contatando diferenças estatisticamente significantes entre as medias.

Nos casos em que, os tratamentos se referem à variação dos níveis de k fatores ($F_1, F_2, \dots, F_k$), tanto os seus efeitos principais, quanto à interação entre os mesmos são considerados como fontes de variação. Assim, equação (14) pode ser reescrita conforme equação (15).

$$SQ_T = SQ_{F_1} + SQ_{F_2} + \dots + SQ_{F_k} + SQ_{F_1F_2} + \dots + SQ_{ERROS} \quad (15)$$

De forma análoga, a Tabela 5 pode ser reformulada, para contemplar os efeitos principais e interações entre fatores.

A Tabela 7 ilustra a tabela da análise de variância para dois fatores.

Tabela 7 – Tabela da análise de variância (ANOVA) para dois fatores.

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Médias Quadráticas	F_0
Tratamento A	SQ_A	$a - 1$	MQ_A	$\frac{MQ_A}{MQ_{ERRO}}$
Tratamento B	SQ_B	$b - 1$	MQ_B	$\frac{MQ_B}{MQ_{ERRO}}$
Interação AB	SQ_{AB}	$(a - 1) - (b - 1)$	MQ_{AB}	$\frac{MQ_{AB}}{MQ_{ERRO}}$
Erro	SQ_{ERRO}	$ab(n - 1)$	MQ_{ERRO}	
Total	SQ_{TOTAL}	$N - 1$		

Fonte: Adaptado de Montgomery (2010).

Complementando as evidencias da Análise de Variância, será apresentada a análise dos resíduos, pelo método da Regressão.

2.2.4 Modelo de Regressão

Box (2005) afirma que, há uma forte ligação entre planejamento fatorial e análise de regressão, pois é possível a construção de um modelo, que facilite o entendimento e

interpretação por meio das análises envolvidas no planejamento fatorial, mesmo que, esta construção seja de maneira empírica.

Box (2005) da mesma forma mostra que, um modelo de regressão, com $\hat{y}$ sendo o valor predito, é formado pela variável independente (β_0), pelos coeficientes de regressão (β_i), e ligado a estes as respectivas variáveis (x_i) envolvidas e (ϵ) o erro. Como ilustração, segue a equação (16) para duas variáveis.

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \epsilon \quad (16)$$

Manipulando a equação (16), pode se expressar uma forma genérica do modelo de regressão conforme equação (17).

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon \quad (17)$$

Porém, em um modelo de regressão além de expressar as variáveis principais, pode incluir as variáveis de interação, assim a equação (16) ficaria, conforme equação (18).

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \epsilon \quad (18)$$

Pode-se igualmente considerar $\beta_3 = \beta_{12}$ e $x_3 = x_1 x_2$, então a equação (18) seria reescrita conforme equação (19).

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \epsilon \quad (19)$$

Conforme Box (2005) mostra, a relação entre o planejamento fatorial e o modelo de regressão está no fato de que, se é possível calcular os coeficientes de regressão de um modelo, dividindo o efeito principal ou da interação por dois, conforme ilustrado na equação (20), onde i representa um fator ou interação.

$$\beta_i = \frac{\text{Efeito}_i}{2} \quad (20)$$

Conhecer como é composto o modelo é essencial, e para estimar coerentemente os coeficientes que irão construí-lo, deve observar as prévias análises como Análise de Variância, pois indica os efeitos mais significativos que devem compor o modelo.

Box (2005) mostra que, as análises dos resíduos é uma forma de verificação, que do mesmo modo, suporta na decisão das escolhas dos coeficientes que irão compor o modelo. Estes cuidados garantem que, o modelo construído tenha uma maior aproximação ao sistema real.

A determinação dos resíduos ocorre pela diferença do valor observado pelo valor predito, conforme equação (21). Onde $\hat{y}_{ij}$ corresponde o valor estimado para aquela observação.

$$(21)$$

$$e_{ij} = y_{ij} - \hat{y}_{ij}$$

Desta forma a análises dos resíduos se torna parte das análises de variância, funcionando como uma verificação, que pode ser facilmente realizada por meio de um gráfico, do z-valor das probabilidades acumuladas pelos resíduos, que devem se mostrar ordenados conforme distribuição normal reduzida $N(0,1)$.

2.2.5 Comparação entre médias pelo método de *Tukey*

Após verificar, por meio da análise de variância, que existem diferenças entre as médias dos tratamentos, se faz necessário verificar qual das médias do tratamento se apresentasse diferentes, e o teste *Tukey* é um dos mais precisos para esta comparação.

O teste de *Tukey* declara duas médias significativamente diferentes, quando o valor absoluto da amplitude entre estas, for maior que a amplitude da distribuição *studentized*, como expressa em (22).

$$T_\alpha = q_\alpha(a, f) \sqrt{\frac{MS_E}{n}} \quad (22)$$

Onde, a é o número de níveis, n é o número de observações por nível, $f = a * (n - 1)$, $q_\alpha(a, f)$ é o valor da amplitude da distribuição *studentized* e MS_E é o valor da estimativa da variância do erro, retirada da análise de variância.

A amplitude da distribuição *studentized* é a distribuição de probabilidade continua estimada, para um intervalo de uma população normalmente distribuída com um tamanho pequeno de amostra, e desvio padrão σ desconhecido.

É muito comum que, se recorra a tabelas para se determinar amplitude *studentized*, porém isso nos restringe aos graus de significância (α) mais usual, como 1% e 5% e também aos graus de liberdade que a tabela possui. Caso o experimento não apresente estes mesmos graus de liberdade pré-determinados, deve se realizar interpolações, perdendo a precisão que este método fornece logo, o mais adequado é calcular esta amplitude.

O cálculo da amplitude desta distribuição *studentized*, segue a Função de Distribuição Cumulativa conforme equação (23).

$$F(x) = \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty a\varphi(t)[\Phi(t) - \Phi(t - xu)]^{k-1} dt dg_v(u)$$

Onde $\varphi(t)$ é a Função Densidade de Probabilidade e $\Phi(t)$ a Função de Distribuição Cumulativa da Função Padrão de Distribuição Normal conforme equação (24).

$$dg_v(u) = \frac{v^{v/2}}{\Gamma(\frac{v}{2})^2} u^{v-1} \exp(-vu^2/2) du \quad (24)$$

Estas funções, Densidade de Probabilidade e a Função de Distribuição Cumulativa, podem ser calculadas através do algoritmo AS190 2 de Lund e Lund (1985), com a correção do algoritmo AS R69 de Royston, J. P. (1987).

O algoritmo AS190 2 se baseia na função polinomial em v , r e t em que t é o quantil da distribuição de t de *Student*, para o valor p fornecido pelo usuário para obtenção do quantil q da amplitude *studentized*. Algumas situações podem produzir erros neste algoritmo, por divisões por zero na linha QTRNG=(E2*Q1-E1*Q2)/(E2-E1) e este erro veio a ser eliminado pelo algoritmo AS R69 de Royston, J.P (1987).

2.2.6 Verificação da adequação do tamanho da amostra

Montgomery (2010) sustenta que, um ponto crítico de decisão em um planejamento de experimento é determinar, se o número de réplicas que foram executadas no experimento está adequado, para investigar os fatores com menores efeitos. Para tanto, salienta a possibilidade do uso das curvas característica operacional, para verificar a probabilidade do erro tipo II.

Assim, a equação (25) representa a hipótese do modelo, do efeito fixo para o erro do tipo II, que ocorre com a probabilidade:

$$\beta = 1 - P\{F_0 > F_{\alpha, a-1, N-1} | H_0 \text{ é falsa}\} \quad (25)$$

Então se faz necessário, conhecer a distribuição do teste estatístico F_0 sendo a hipótese nula falsa, e esta segue a distribuição da função não central de F .

Uma forma clássica, usada para se conhecer as curvas desta distribuição é consultar alguns gráficos, denominados ábacos das curvas características operacionais, que ilustra o gráfico da probabilidade do erro do tipo II. Para consultar estes gráficos é necessário conhecer os graus de liberdade, envolvidos no experimento e o parâmetro Φ que está representado na equação (26).

$$\Phi^2 = \frac{nD^2}{2a(MQ_{Erro})^2} \quad (26)$$

Onde na equação (26) n é igual ao tamanho de amostras, a é igual ao numero de tratamentos do fator ou interação, MQ_{Erro} é o valor da variância do erro e D é a mínima

diferença, considerada significativa entre duas médias, parâmetro este que deve ser atribuído por uma especialista.

O uso dos ábacos das curvas operacionais limita a algumas curvas pré-determinadas, com bases em graus de liberdades usual em experimentos, gerando a necessidade de interpolações e consequente perda de precisão, caso não se encontre uma curva em um ábaco, com as mesmas características do experimento, que está sendo investigado.

Porém igualmente se pode determinar esta probabilidade do erro do tipo II de maneira direta, por meio da função de probabilidade de distribuição não central de F , equação (27).

$$f(x) = \sum_{m=0}^{\infty} \left[\frac{e^{\lambda/2} (\lambda/2)^m}{B\left(\frac{v_2}{2}, \frac{v_1}{2} + m\right) m!} \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{\frac{v_1}{2} + m} \left(\frac{v_2}{v_2 + v_1 x}\right)^{\frac{v_1 + v_2}{2} + m} x^{\frac{v_1}{2} - 1 + m} \right] \quad (27)$$

Onde $v_1 = a - 1$ e $v_2 = a(n - 1)$ são os graus de liberdade, com a o número de tratamento do fator ou interação, e n é o número de observações por nível; O λ é igual à $\lambda = \Phi^*(v_1)$; o valor x representa o inverso da probabilidade da distribuição F para $1 - \alpha$ e graus de liberdade v_1 e v_2 . E B é a função Beta.

Por meio desta função de probabilidade de distribuição não central de F , obtém-se diretamente de maneira precisa o valor da probabilidade do erro do tipo II, sem que, se recorra a ábacos das curvas operacionais.

3 “THE CAKE” CARACTERÍSTICAS

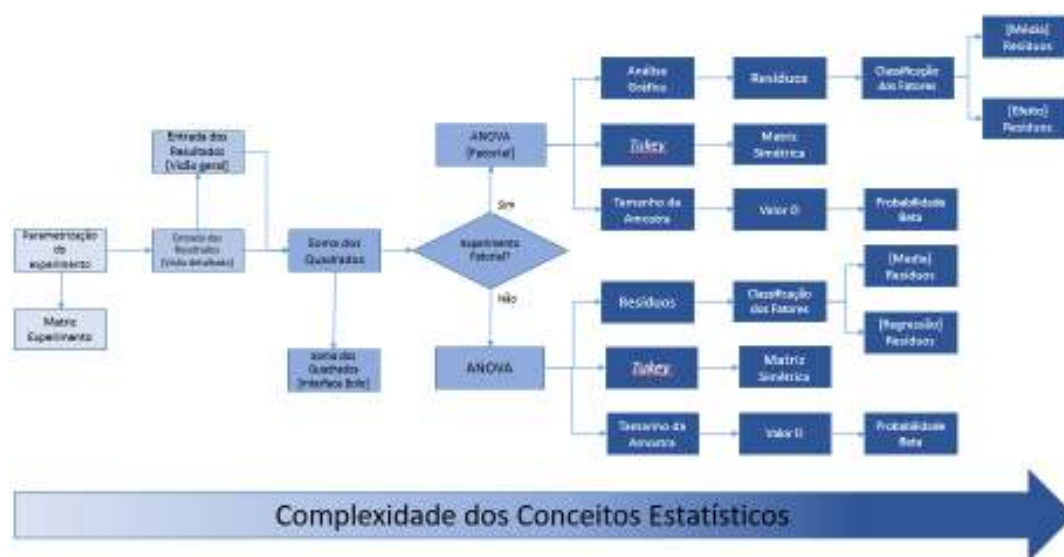
Este capítulo apresenta as características do *software*, proposto como apoio ao ensino, denominado “*The Cake*”. Irá apresentar cada interface demonstrando um exemplo, e descrevendo características didáticas e do *layout*.

3.1 FLUXO DAS ANÁLISES DO “THE CAKE”

A Figura 6 apresenta o fluxo das etapas executadas pelo *software*, durante a análise de experimentos. Observa-se que, os conceitos empregados nessa análise são apresentados de forma gradativa, partindo dos mais simples para os mais complexos.

Inicia-se as análises com um reconhecimento do experimento, determinando os fatores, níveis, número de réplicas e grau de significância, em seguida o conceito de variabilidade e variância são trabalhados, de forma gráfica e por meio de tabelas, então é disponibilizado as análises dos resíduos, pelo método de Regressão e por fim disponibilizam-se as análises de comparação, entre as médias e análises de adequação do tamanho da amostra.

Figura 6 – Fluxo de análise.



Fonte: Produção do próprio autor.

Para ilustrar a aplicação deste *software*, foi selecionado um caso exemplo retirado de Montgomery (2010).

3.2 EXEMPLO UTILIZADO

O caso em questão estuda um processo de envase de refrigerantes, onde o objetivo é uniformizar a quantidade de refrigerante envasado. Os fatores controláveis são o percentual de carbonatação (Fator *A*), com nível baixo em 10% e nível alto em 12%; a pressão de operação (Fator *B*), com nível baixo em 25psi e 30psi e a velocidade da linha (Fator *C*), com nível baixo em 200 garrafas envasadas por minutos, e nível alto em 250 garrafas envasadas por minutos. A resposta é a variação, em milímetros, da altura do líquido na garrafa em relação à altura padrão. A matriz experimental para este caso é apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 – Matriz experimento do processo de envase.

Fatores			Réplicas	
<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	I	II
-	-	-	-3	-1
+	-	-	-2	-1
-	+	-	-1	0
+	+	-	1	0
-	-	+	-1	0
+	-	+	1	1
-	+	+	1	1
+	+	+	4	5

Fonte: Produção do próprio autor.

3.3 PARAMETRIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

A primeira interface apresentada será a de parametrização, para reconhecimento do experimento, então cada fator será identificado e terá os seus níveis definidos, bem como as réplicas. Igualmente será definido o nível de significância α , que pode variar de 0,01 a 0,99. Pois esta primeira interface tem um *layout* muito simples, para que o reconhecimento do experimento seja realmente o foco, conforme ilustrado na Figura 7. Esta interface oferece duas opções: “Entrada de Dados” e “Matriz Experimento”.

Figura 7 – Interface Parametrização do Experimento.

The Cake 3000.exe

Salvar Fechar

THE CAKE Statistic

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}$$

Fator	Nível	Fator	Nível
A % Carbonatação	2	F	
B Pressão Operação	2	G	
C Velocidade da Linha	2	H	
D		I	
E		J	

Réplicas: 2,00
Alfa: 0,05

Entrada de Dados

Matriz Experimento

Fonte: Produção do próprio autor.

A opção “Matriz Experimento”, como o próprio nome sugere, apresentará a Matriz Experimental, que é a tabela com as combinações dos níveis dos fatores, conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 8 – Interface Matriz Experimento.

The Cake 3000.exe

Salvar Fechar Início

THE CAKE Statistic

Fatores	Legenda	Níveis
A	% Carbonatação	2
B	Pressão Operação	2
C	Velocidade da Linha	2
Réplicas	2	
Alfa	0,05	

Linha	A	B	C
1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1

Fonte: Produção do próprio autor.

Esta interface, representada na Figura 8, apresenta um quadro com a parametrização do experimento, informação que será mantida ao longo das demais telas.

A Matriz Experimental, Figura 8, é apresentada na forma de uma tabela, onde cada linha representa uma combinação dos níveis dos fatores, os níveis baixos estão representados pelo valor -1 e o nível alto pelo valor 1.

Após este reconhecimento, pressionando-se o botão Início, retorna-se à interface apresentada na Figura 7, onde o próximo passo será à entrada dos resultados dos ensaios, pressionando o botão Entrada de Dados, que irá direcionar a interface da Figura 9.

3.4 ENTRADA DOS RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS

Após a visualização da Matriz Experimental, procede-se à Entrada de Dados. Esta interface permitirá a visualização de cada linha do experimento, que indica uma combinação dos níveis dos fatores. Preenche-se o respectivo resultado do experimento, e registra este resultado clicando no botão Entrar/Alterar. Ao clicar neste botão apresenta-se a próxima linha do experimento para, que sejam realizados todos os registros dos resultados.

Esta interface da mesma forma, permite que, o usuário percorra cada linha do experimento em sua ordem padrão, por meio dos botões Anterior e Próximo. Caso seja necessário corrigir algum resultado que foi registrado, basta subscrever e clicar no botão Entrar/Alterar.

A Figura 9 ilustra a primeira linha do planejamento experimental, utilizado como exemplo.

Figura 9 – Interface Entrada dos Resultados.

Fatores	Legenda	Níveis
A	% Carbonatação	2
B	Pressão Operação	2
C	Velocidade da linha	2

Réplicas: 2
Alfa: 0,05

Anterior Próximo

Ordem	A	B	C
Padrão	1	-1	-1

Resposta R1: -3
Entrar/Alterar

Fonte: Produção do próprio autor.

Para uma visão completa do experimento, pode-se clicar no botão Visualizar, este apresentará uma interface, que permitirá ver um quadro completo, com todas as linhas dos experimentos, conforme Figura 10.

Figura 10 – Interface Entrada de Resultados [Visão Geral].



Fatores	Legenda	Níveis
A	% Carbonatação	2
B	Pressão Operação	2
C	Velocidade da Linha	2
Réplicas	2	
Alfa	0,05	

Linha	A	B	C	Resposta	
				R1	R2
1	-1	-1	-1	-3	-1
2	1	-1	-1	-2	-1
3	-1	1	-1	-1	0
4	1	1	-1	1	0
5	-1	-1	1	-1	0
6	1	-1	1	1	1
7	-1	1	1	1	1
8	1	1	1	4	5

Fonte: Produção do próprio autor.

Esta interface também permite o preenchimento e alteração dos resultados, que similarmente podem ser inseridos, sendo copiados de uma planilha de Excel e colados.

Em ambas as interfaces, pode-se direcionar ao cálculo das variabilidades, clicando o botão Cálculo dos SQs.

3.5 VARIABILIDADE E ANÁLISE DE VARIÂNCIA

É a partir deste ponto que se inicia a navegação pelas análises estatísticas. Esta etapa permite visualização da variabilidade total, e sua decomposição nos termos devidos aos tratamentos e ao erro, conforme Figura 11.

Figura 11 – Interface Soma dos Quadrados.



Escolha os fatores e interações a serem retirados do erro

SQT 61,4375

Fatores	Legenda	Níveis
A	% Carbonatação	2
B	Pressão Operação	2
C	Velocidade da Linha	2
Réplicas	2	
Alfa	0,05	

Fator	SQ
A	10,563 ☐
B	18,063 ☐
C	22,563 ☐

Segunda Ordem	SQ
A x B	1,563 ☐
A x C	3,063 ☐
B x C	0,563 ☐

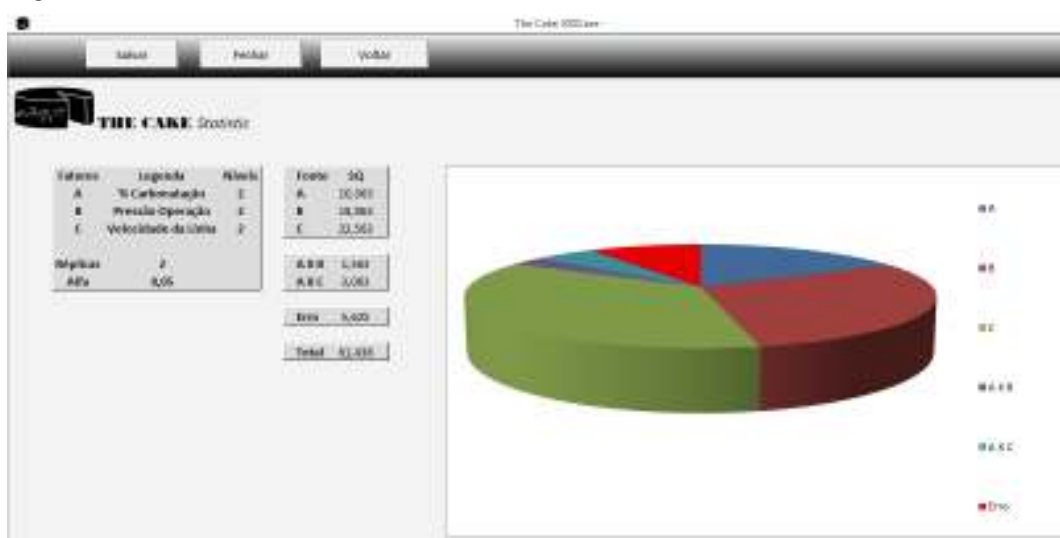
Terceira Ordem	SQ
A x B x C	0,563 ☐

Fonte: Produção do próprio autor.

Nesta tela é possível observar a variabilidade nos efeitos principais e nas interações. O *software* oferece a possibilidade de selecionar os efeitos, que o usuário julgar significativos com um simples clique na respectiva caixa de seleção. Convém mencionar que, aqueles efeitos não selecionados irão compor o erro.

Antes de prosseguir as demais análises é possível verificar de forma gráfica, as variabilidades e o impacto de suas escolhas no erro, clicando no botão Bolo, conforme ilustrado na Figura 12.

Figura 12 – Interface Bolo.



Fonte: Produção do próprio autor.

Esta interface apresenta um quadro, com as variabilidades dos efeitos principais dos fatores, e das interações conforme escolhidos previamente, bem como o erro e a variabilidade total.

Adicionalmente, esta interface da Figura 12, apresenta um gráfico circular, que sintetiza todas as variabilidades escolhidas de forma que se possa perceber a representatividade da variabilidade do efeito de cada termo, em relação à variabilidade total. A visualização gráfica comunica claramente a ideia de que, a variabilidade do experimento é única, composta pelas parcelas devidas aos efeitos dos fatores e do erro.

A próxima etapa da análise do experimento é sintetizar as variabilidades na tabela clássica, da Análise de Variância (ANOVA), Figura 13, o que pode ser realizada pressionando-se o botão ANOVA na interface da Figura 11.

Figura 13 – Interface ANOVA.



Fonte: Produção do próprio autor.

Um quadro completo da análise de variância, com os valores das somas dos quadrados, grau de liberdade, variância, valores de F de Snedecor, calculados e críticos e o p-valor é ilustrado nesta interface.

Caso as escolhas dos fatores e interações não sejam adequadas, não atingindo o resultado esperado no teste de hipótese, pode-se voltar à interface da Figura 11, para selecionar outros fatores e interações.

Para este exemplo a ANOVA mostra que, a interação *AB*, *AC* e *ABC* não são estatisticamente significativas, sendo assim, se pode retornar à interface da Figura 11, e manter selecionado apenas os fatores que realmente são significativos.

Os fatores e interações escolhidos neste momento irão compor o modelo matemático, apresentado mais à frente.

Um gráfico do z-valor da probabilidade acumulada pelas variabilidades, conforme ilustra a Figura 14, é uma segunda forma de visualizar se os efeitos dos fatores são significativos. Esta opção é disponibilizada, pressionando-se o botão Gráfico na interface representada na Figura 13, porém apenas para os experimentos fatoriais 2^k .

Figura 14 – Interface Análise Gráfica.



Fonte: Produção do próprio autor.

Pode-se ver na Figura 14, uma tabela onde a primeira coluna é a Ordem (j), a segunda as fontes de variação (fatores e interações), a terceira os respectivos valores das variabilidades, a quarta as probabilidades acumuladas, e na quinta coluna o z-valor das probabilidades acumuladas. As linhas das fontes de variações, selecionadas pelo usuário estarão destacadas em vermelho neste quadro.

Nesta interface é também apresentado o gráfico dos valores das somas dos quadrados pelo z-valor, das probabilidades acumuladas do experimento, mostrando o quanto os valores significativos no experimento se destacam dos demais. Os pontos das fontes de variação escolhidas da mesma forma, estarão destacados em vermelho.

A partir da interface da Figura 14, pode-se seguir para análise dos resíduos clicando no botão Resíduos.

3.6 ANÁLISE DOS RESÍDUOS

Antes de se proceder a análise dos resíduos será necessária identificar os fatores, quanto à sua natureza qualitativa ou quantitativa. Esta identificação é realizada na interface, apresentada na Figura 15.

Figura 15 – Interface Classificação dos Fatores.

The image shows a software window titled "Classificação dos Fatores". Inside, there are three labels: "Fator A", "Fator B", and "Fator C". Each label is followed by a dropdown menu. The first two dropdowns are set to "Quantitativo". The third dropdown, for "Fator C", is open, showing two options: "Qualitativo" and "Quantitativo", with "Quantitativo" selected and highlighted in blue. To the right of these dropdowns is a button labeled "Resíduos".

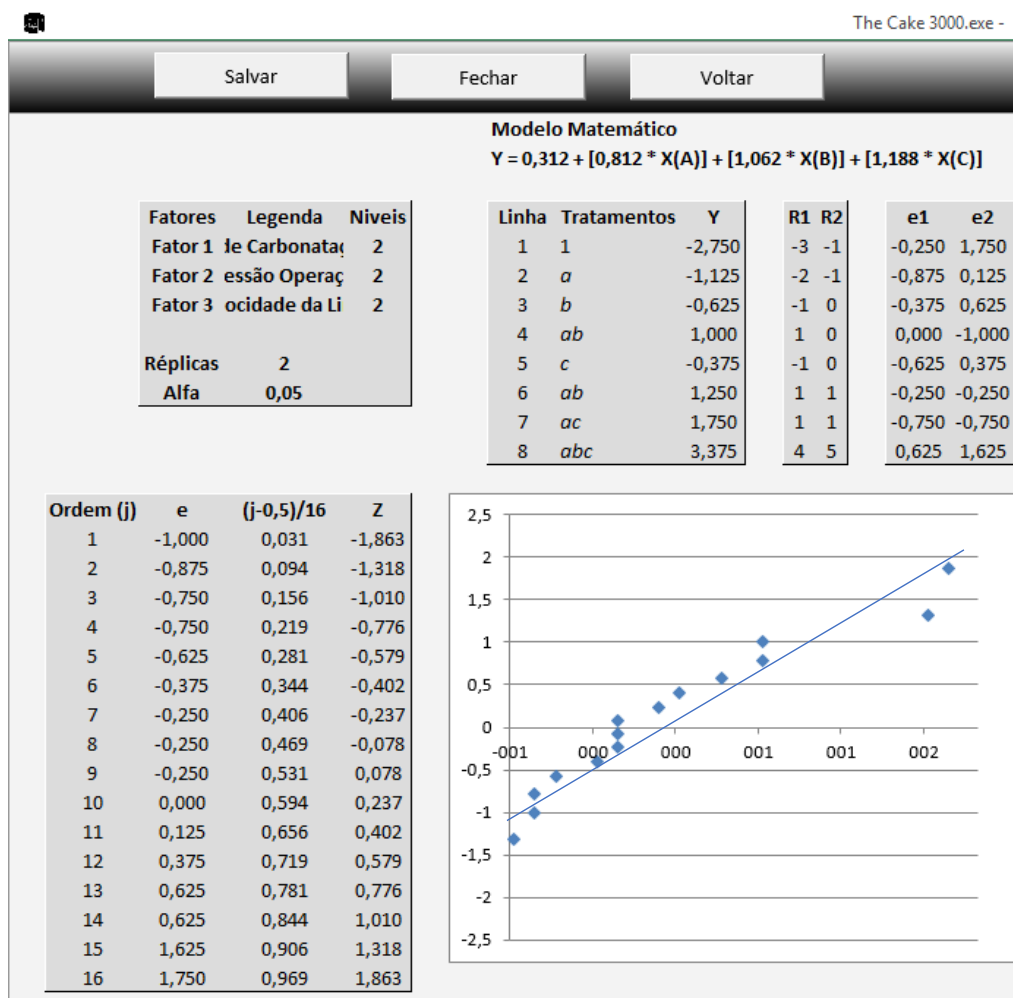
Fonte: Produção do próprio autor.

Depois de informar a natureza dos fatores, a análise dos resíduos pode ser realizada clicando-se no botão Resíduos, para que seja apresentada a interface da Figura 16.

Esta interface apresenta o modelo de regressão, para variável resposta somente se todos os fatores forem quantitativos. Abaixo do modelo, apresenta-se um quadro com a ordem padrão do experimento, os tratamentos representados conforme o padrão de Yates, e os valores preditos por meio do modelo proposto; um segundo quadro com os valores observados; e um terceiro quadro com os resíduos, que são as diferenças entre cada resultado obtido pelo valor predito.

Igualmente se apresenta um quadro, onde os resíduos estão organizados para a plotagem do gráfico de probabilidade normal. A primeira coluna é a Ordem (j) dos resíduos; a segunda são os resíduos, organizados em ordem crescente; a terceira as probabilidades acumuladas e uma última o z-valor de cada probabilidade acumulada. E por fim, o gráfico dos resíduos pela probabilidade normal.

Figura 16 – Interface Análise dos Resíduos.

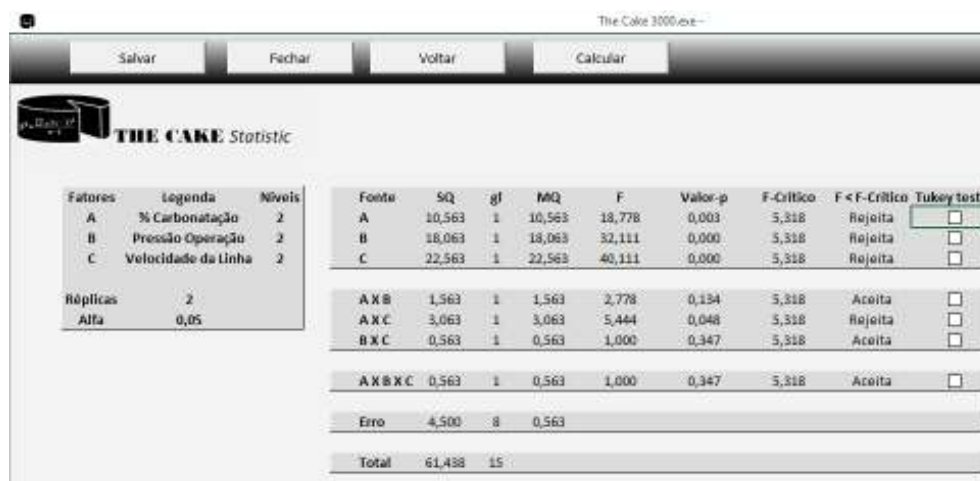


Fonte: Produção do próprio autor.

Para continuar com as demais análises, deve-se clicar no botão Voltar, retornando a interface da Figura 13, onde serão oferecidas mais duas opções de análise, a comparação das médias pelo método de *Tukey*, e a verificação da adequação do tamanho da amostra.

3.7 COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS PELO MÉTODO DE *TUKEY*

Para a comparação das médias pelo método *Tukey*, clicca-se no botão “*Tukey*”, e a interface da Figura 17 será apresentada.

Figura 17 – Interface Método *Tukey*.


Fatores	Legenda	Níveis
A	% Carbonatação	2
B	Pressão Operação	2
C	Velocidade da Linha	2
Réplicas	2	
Alfa	0,05	

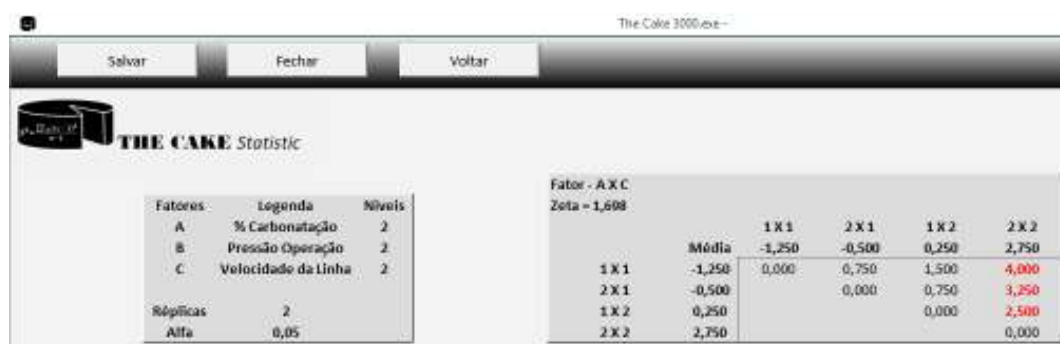
Fonte	SS	gl	MQ	F	Valor-p	F-Crítico	F < F-Crítico	Tukey test
A	10,563	1	10,563	18,778	0,003	5,318	Rejeita	☐
B	18,063	1	18,063	32,111	0,000	5,318	Rejeita	☐
C	22,563	1	22,563	40,111	0,000	5,318	Rejeita	☐
A x B	1,563	1	1,563	2,778	0,134	5,318	Aceita	☐
A x C	3,063	1	3,063	5,444	0,048	5,318	Rejeita	☐
B x C	0,563	1	0,563	1,000	0,347	5,318	Aceita	☐
A x B x C	0,563	1	0,563	1,000	0,347	5,318	Aceita	☐
Erro	4,500	8	0,563					
Total	61,438	15						

Fonte: Produção do próprio autor.

A Figura 16 mostra o quadro completo, da análise de variância com caixas de seleção, que permite escolher os fatores ou interações, e em seguida, para obter a análise, clica-se no botão Calcular.

Caso tenha sido selecionada alguma fonte de variação que não seja aplicável, está análise irá indicar um alerta, que o fator em questão não se aplica a este tipo de teste. Então após selecionar apenas os fatores e interações, que podem ter o teste *Tukey* aplicado, clica-se no botão Calcular, então será apresentada a interface da Figura 18.

Figura 18 – Interface Matriz Simétrica.



Fatores	Legenda	Níveis
A	% Carbonatação	2
B	Pressão Operação	2
C	Velocidade da Linha	2
Réplicas	2	
Alfa	0,05	

Fator - A x C					
Zeta = 1,698					
		1 X 1	2 X 1	1 X 2	2 X 2
	Média	-1,250	-0,500	0,250	2,750
1 X 1	-1,250	0,000	0,750	1,500	4,000
2 X 1	-0,500		0,000	0,750	3,250
1 X 2	0,250			0,000	2,500
2 X 2	2,750				0,000

Fonte: Produção de próprio autor.

Esta interface irá apresentar um quadro para cada fator ou interação, que foi selecionado pelo estudante. Cada quadro apresentará o fator ou interação, o valor *Zeta* e a matriz simétrica, com as diferenças entre as médias no seu valor absoluto, os valores que forem maiores que o valor *Zeta* estará destacado em vermelho.

A fácil visualização das diferenças entre as médias e comparação com o valor *Zeta*, são características mais evidentes desta interface, além da similaridade da apresentação dos resultados com os livros textos.

Para se realizar a última análise, deve-se clicar no botão Voltar, retorna-se a interface da Figura 13, que oferece a possibilidade de verificação da adequação do tamanho da amostra.

3.8 VERIFICAÇÃO DA ADEQUAÇÃO DO TAMANHO DA AMOSTRA

Clicando no botão Tamanho da Amostra, será disponibilizada a interface, representada pela Figura 19.

Esta interface auxilia verificar se o número de réplicas do experimento foi adequado, para os fatores ou interações com menor efeito, por meio do valor da probabilidade Beta (β).

Figura 19 – Interface Tamanho da Amostra.

The screenshot shows the 'THE CAKE Statistic' software interface. At the top, there are buttons: 'Salvar', 'Fechar', 'Voltar', and 'Calcular'. Below the title bar, there's a logo and the text 'THE CAKE Statistic'. The main area is divided into several sections:

- Fatores:** A table with columns 'Fatores', 'Legenda', and 'Níveis'.

Fatores	Legenda	Níveis
A	% Carbonatação	2
B	Pressão Operação	2
C	Velocidade da Linha	2
- Réplicas:** 2
- Alfa:** 0,05
- ANOVA Table:**

Fonte	SQ	gl	MQ	F	Valor-p	F-Crítico	F < F-Crítico	D
A	10,563	1	10,563	18,778	0,003	5,318	Rejeita	
B	18,063	1	18,063	32,111	0,000	5,318	Rejeita	
C	22,563	1	22,563	40,111	0,000	5,318	Rejeita	
A X B	1,563	1	1,563	2,778	0,134	5,318	Aceita	1,600
A X C	3,063	1	3,063	5,444	0,048	5,318	Rejeita	
B X C	0,563	1	0,563	1,000	0,347	5,318	Aceita	
A X B X C	0,563	1	0,563	1,000	0,347	5,318	Aceita	
Erro	4,500	8	0,563					
Total	61,438	15						
- Beta:** 0,438

Fonte: produção do próprio autor.

Esta interface apresentará o quadro completo da análise de variância, onde na frente de cada fonte, terá um campo para entrar com o valor D, que é a mínima diferença considerada relevante, entre os níveis dos fatores desejados a se analisar. Este valor deve ser atribuído por um especialista. Então se deve clicar no botão Calcular, para que o valor da probabilidade Beta seja calculado e disponibilizado, em uma coluna ao lado.

Fornecer o valor Beta diretamente, sem a necessidade de se recorrer à verificação de curvas, em gráficos complexos é o diferencial nesta interface. Assim o foco da atenção é analisar se a probabilidade Beta está indicando um tamanho de amostra pertinente.

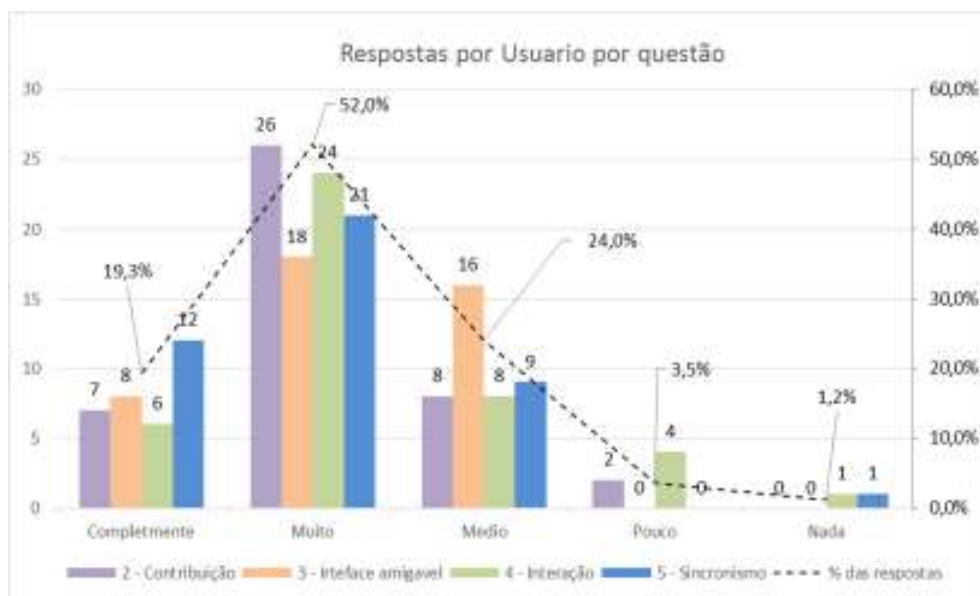
4 APLICAÇÃO DO *SOFTWARE* E COLETA DE OPINIÃO DOS USUÁRIO

Este software foi utilizado na resolução de exercícios em grupos em sala de aula e também disponibilizado para momentos de estudo individual de 43 estudantes do curso de duas turmas da matéria Estatística Aplicada a Qualidade da Universidade Estadual de São Paulo. E com a intenção de capturar a percepção do usuário quanto a participação do software no momento do aprendizado dos conceitos de Planejamento de Experimento um questionário foi usado como ferramenta.

Este questionário era composto por 9 perguntas fechadas, as quais foram divididas em dois grupos, que diferenciavam se pelas características de suas perguntas e ao final das perguntas havia um campo para comentários. Esses grupos buscavam evidências da participação do software no processo de aprendizado, assim como sua funcionalidade e características técnicas.

O primeiro grupo é composto por quatro questões que verificavam se é reconhecido pelo usuário a contribuição do software no processo de aprendizado, por meio de interfaces amigáveis, similares aos livros textos e que possibilita interações como usuário teve respostas que mostrou que 52% dos entrevistados, avaliaram que o uso do software pode contribuir muito para o entendimento dos conceitos de Planejamento de Experimentos e 19,3% dos entrevistados julgaram que ajuda completamente.

Gráfico 1 - Respostas por usuário por questão



Fonte: Produção do próprio autor

O segundo grupo com as quatro questões que buscavam verificar a funcionalidade do software, como a facilidade na entrada de dados, velocidade de cálculo e parte gráfica, verificou que a maioria dos usuários, 39,7% deu nota 7,5, se considerar as três características juntas; 33,3% dos usuários deram nota 10 para estas mesmas três características. Pode se, então, entender que a maioria dos usuários avalia o software com nota 7,5 e 10 para as características de entrada de dados, velocidade de cálculo e parte gráfica.

Gráfico 9 - Respostas por Usuário por Questões Técnicas



Fonte: Produção do próprio autor

5 CONCLUSÃO

A revisão da literatura apontou deficiências nos recursos pedagógicos do método Planejamento de Experimentos, e isso serviu de motivação para a criação de um software protótipo que tivesse características essencialmente didáticas, onde interessados em aprender Planejamento de Experimentos pudesse usá-lo no momento dos estudos, desta forma esta dissertação propõe o desenvolvimento de um software para preencher tais lacunas

Entende-se que esta proposta teve seu objetivo alcançado se considerar que as opiniões dos usuários sobre a contribuição do software no entendimento do método são favoráveis, também pode se entender que este software proposto buscou princípios didáticos e teve suas interfaces desenvolvidas similarmente aos livros textos, com a intenção de favorecer a cognição, e proporcionando uma navegação que segue um fluxo, para que as análises sejam apresentadas gradativamente, proporcionando ênfase nos conceitos do método.

REFERÊNCIAS

ACTION, Portal. **Cálculo e interpretação do p valor**. Disponível em <<http://www.portalaction.com.br/inferencia/512-calculo-e-interpretacao-do-p-valor>>. Acesso em: 12 Dezembro. 2016.

ALMEIDA, Diogo; SANTOS, Marco A. R. dos; COSTA, Antônio F. B. **Aplicação do coeficiente alpha de Cronbach nos resultados de um questionário para avaliação de desempenho da saúde pública**. Enegep: São Carlos, 2010.

ALVAREZ, M. T. E. V. L. I. M. J. *Barriers faced by engineers when applying design of experiments*. Iss 6 pp. 565 – 575. *The TQM Journal: Bingley*, 2009. 21 v.

ANDERSON, M.J. and Kraber, S.L. (1999), “Eight keys to successful DoE”, *Quality Digest*, Vol. 19.

ARA, Amilton Braio. **O ensino de estatística e a busca do equilíbrio entre os aspectos determinísticos e aleatórios da realidade**. Universidade de São Paulo: São Paulo, 2006.

AZEVEDO, Elizabeth Quirino de. **O processo de ensino-aprendizagem-avaliação de matemática através da resolução de problemas no contexto da formação inicial do professor de matemática**. Universidade Estadual Paulista: Rio Claro, 2014. 270 f.

BARTZ, A. E.; SABOLIK, M. A. *Computer and Software Use in Teaching the Beginning Statistics Course*. Disponível em: <<http://www.top.sagepub.com>>. Acesso em: 22 Jul. 2016.

BEANCHAMP, Y. E YOUSSEF, A. Y. *An effective approach to teach design of experiments (DOE) using calculation and analysis worksheets and computerized spreadsheets*. Pergamon: Quebec, 1998.

BELL, Randy L.; MAENG, Jennifer L.; BINNS, Ian C. *Learning in context: Technology integration in a teacher preparation program informed by situated learning theory*. *Journal of research in science teaching: Virginia*, 2013.

BLAND, J. M.; ALTMAN, D. G. *Statistics notes cronbach's alpha*. *BMJ articles*: London, 1997.

BOCANEGRA, Carlos Henrique. **O processo de aprendizagem em práticas de ensino pro investigação: interpretações a partir da abordagem fenomenológica e semiótica social**. Universidade Estadual Paulista: Bauru, 2015. 389 f.

BOX, G. E. P; HUNTER, J. S; HUNTER, W. G. *Statistic for Experimenters. A John Wiley & Sons Inc, New Jersey*, 2005

BUSH, Stephen; MEZIES, G.; THORP, S. *An Array of Online Teaching Tools. Teaching Statistics. Number 1. 2009. 31 v.*

CARVALHO Jr. **Modelo de uso da tecnologia de informação no suporte ao processo de ensino aprendizagem baseado em problemas no curso médico:** desenvolvimento e avaliação. Universidade Estadual de Campinas: Campinas, 2002.

CHAER, Galdino; DINIZ, Rosa Pereira; RIBEIRO, Elisa Antônia. **A técnica do questionário na pesquisa educacional** Evidência: Araxá, 2011.

CHANCE Beth et al. *The role of Technology in improving student learning of statistics. Technology innovations in statistics journal* 1 (1), 2007.

CONNELLY, Lynne M. *Cronbach's Alpha. Jannetti Publications, Inc: Pitman*, 2011.

CYMROT, Raquel. **A utilização do programa excel no aprendizado de técnicas estatísticas utilizadas na metodologia seis sigma.** Mackenzie: São Paulo, 2006.

DELL'OMODARME, M.; VALLE G. *Teaching statistics with excel and R: Scuola Normale Superiore di Pisa: Pisa.*

DINOV, I. D., SANCHEZ, J., CHSISTOU, N. *Pedagogical utilization and assessment of the statistic online computational resource in introductory probability and statistics courses.* Elsevier: Los Angeles, 2008.

DIRETRIZES PARA APRESENTAÇÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS DA FEG/UNESP. Universidade Estadual Paulista: Guaratinguetá, 2013. 107 f.

DOMINGUES, Luiza. *Excel – Macros e Visual Basic for Applications.* ISCTE: Lisboa.

ENNS, S. T. *An Interactive Spreadsheet-Based Tool to Support Teaching Design of Experiments.* *Inform transactions on Education: Maryland*, 2008.

ESTEVAM, E. J. G. **(Res)significando a educação estatística no ensino fundamental:** a análise de uma sequência didática apoiada às tecnologias de informação e comunicação. Dissertação de (Mestrado). Universidade Estadual Paulista: Presidente Prudente, 2010. 213 f.

EVANGELISTA, Dilson H. R. **Educação estatística crítica na formação do engenheiro ambiental.** Universidade Estadual Paulista: Rio Claro, 2015. 208 f.

FERENHOF, H. A; FERNANDES. Passos para construção da revisão sistemática e bibliometria. Disponível em: <http://www.igci.com.br/artigos/passos_rsb.pdf>. Acesso em: 18 Jul. 2016. 3 v

FERREIRA, Núbia A.de C. e LEZANA, Álvaro G. R. **Análise de programa de capacitação de empreendedores sociais**. Sesi: Paraná, 2014.

FIOLHAIS, Carlos e TRINDADE, Jorge. **Física no computador: o computador como uma ferramenta no ensino e na aprendizagem das ciências físicas**: Revista Brasileira de Ensino de Física, no. 3. São Paulo, 2003. 25 v.

GERHARDT, Tatiana E.; SILVEIRA, Denise T. **Métodos de pesquisa**. Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. Editora da UFRGS: Porto Alegre, 2009.

GIJO, J. A. L. S. E.V. **Design of Experiments in a higher education setting**. Iss 4 pp. 513 – 521: *International Journal of Productivity and Performance Management*: Bingley, 2013. 63v.

GLEIXNER, S. *et al.* **Teaching design of experiments and statistical analysis of data through laboratory experiment**. *Frontiers in Education Conference*: Boston, 2002.

GOOS, P.; LEEMANS, Herlinde. **Teaching optimal design of experiments using a spreadsheet**. *Journal of statistics education*, number 3 (2004), Disponível em: < www.amstat.org/publications/jse/v12n3/goos.html>. Acesso em: 25 Jul. 2016. 12 v.

GREAT IDEAS REVISITED. *Deloitte & Touch Consulting Group*. 1996.

HUNTER, W. G. **Some ideas about teaching design of experiments, with 2 examples of experiments conducted 5 by students**. *Taylor & Francis Group*: Alexandria, 2015.

IGNÁCIO, Sérgio A. **Importância da estatística para o processo de conhecimento e tomada de decisão**. Revista paranaense de desenvolvimento: Curitiba, 2010.

JIJU, A. **Design of Experiments for Engineers and Science**, *Linacre House: British*, 2003.

KOSHLAND JR, D. E. **Teaching Statistics to Engineers**. *American Association for the Advancement of Science*: New York, 1989.

KUBO, Olga M.; BOTOMÉ, Sílvia Paulo Botomé. **Ensino-aprendizagem: uma interação entre dois processos comportamentais**. UFSC: Florianópolis.

KYNG, Timothy. **Graduates' use of spreadsheet tools in learning and applying financial mathematics**. No. 3. *Asian Social Science*: Australia, 2008. 4 v.

LEMONS, Marina G. S. de. **A motivação no processo de ensino/ aprendizagem, em situação de aula**. Faculdade de psicologia e de ciências da educação: Porto, 1993.

LÍRIO, Simone B. **A tecnologia informática como auxílio no ensino de geometria para deficientes visuais.** Universidade Estadual Paulista: Rio Claro, 2006. 129 f.

LUDWIG, Antônio C. W. **Métodos de pesquisa em educação.** Revista Temas em Educação, n.2, p. 204-233: João Pessoa, 2014. 23 v.

LYE, L. ***Development and use of simulation apps and physical toys for teaching experimental design principles: Faculty of Engineering and Applied Science Memorial University of Newfoundland: Canmore***, 2014.

MAITINO, Lídia M. **Crenças de uma professora e seu aluno acerca de ensino e aprendizagem de inglês em escola pública: contribuições para a formação continuada.** Universidade Estadual Paulista: São José do Rio Preto, 2007. 201 f.

MALARA, Maria Bernadete da Silva. **Os saberes docentes do professor universitário do curso introdutório de estatística expressos no discurso dos formadores.** Universidade Estadual Paulista: Rio Claro, 2008. 309 f.

MAROCO, João; MARQUES, Teresa G. **Qual a fiabilidade do alfa de Cronbach? Questões antigas e soluções modernas?** Instituto Superior de Psicologia Aplicada: Lisboa, 2006.

MCINTYRE, D. R.; PU, H. C.; WOLFFUSE, F. G. ***Use of software tools in teaching relation database design.*** Department of Computer and Information Science, Cleveland State University: Cleveland, 1995.

MELLO, Paula de O. **Software Educacional no Excel para a Análise de Experimentos Fatoriais.** Universidade Estadual Paulista: Guaratinguetá, 2007. 62 f.

MITRE, Sandra M. *et al.* **Metodologias ativas de ensino-aprendizagem na formação profissional em saúde: debates atuais.** Ciência e saúde coletiva: Rio de Janeiro, 2008.

MOLINA, Carlos E. C. **Desenvolvimento de um instrumento multidimensional para avaliação de práticas de ensino no processo de aprendizagem.** Universidade Estadual Paulista: Guaratinguetá, 2015. 121 f.

MONTGOMERY, D. C. ***Design and analysis of experiments.*** Library of congress cataloging-in-publication data: Arizona, 2010.

OEHLERT, G. W. ***A First Course in Design and Analysis of Experiments.*** University of Minnesota: Minnesota, 2010.

OLIVEIRA, Nágila G. G. de. **Significações das metodologias de ensino aprendizagem para professores e alunos do curso de graduação em enfermagem.** Universidade Estadual Paulista: Botucatu, 2015. 52 f.

POLÁČKOVÁ, Julie; JINDROVÁ, Andrea. ***Innovate approach to Education and teching os statistics***. *Journal on efficiency and responsibility in education and science*, No. 1, ISSN: 1803-1617, pp 14-27. Praga, 2008. 3 v.

PRETTO, Nélson; PINTO, Cláudio da C. **Tecnologias e novas educações**. Revista Brasileira de Educação, n. 31 jan./abr: Rio de Janeiro, 2006. 11 v.

PRVAN, T.; REID, A.; PETOCZ, Peterz. ***Statistical Laboratories Using Minitab, SPSS and Excel: A Practical Comparison***. *Teaching Statistics*, Number 2, 2002. 24 v.

RESENDE, Flávia. **As novas tecnologias na prática pedagógica sob a perspectiva construtivista**: UFRJ: Rio de Janeiro, 2002.

SAMPAIO, Luana O. **Educação estatística crítica**: uma possibilidade? Universidade Estadual Paulista: Rio Claro, 2015. 112 f.

SANTOS, Rosana C. M. **Utilizando o software geogebra como recurso didático para o ensino do movimento oscilatório de pêndulos**. Universidade Estadual Paulista: Bauru, 2013. 173 f.

SCOPUS. Disponível em: < <https://www.scopus.com/>>. Acessado em: 12 Abr. 2016.

SCOTT, T.; JACKMAN, S. ***Examples of the Use of Technology in Teaching Statistics***. Napier University: Edinburgh, 1999.

SILVA, Bruno F. da S.; DINIZ, Jean; BORTOLUZZI, Matias A. **Minicurso de estatística básica**: introdução ao software R. USFM: Santa Maria, 2009.

SILVA, Cleiton A. da; PINHEIRO, Fausto C. **Diagnóstico de um sistema de planejamento e controle da produção de uma empresa de médio porte de extrusão de alumínio**. Universidade Estadual Paulista: São Paulo, 2009.

SILVA, Tânia C.; AMARAL, Carmem L. C. **Jogos e avaliação no processo ensino-aprendizagem**: uma relação possível. Universidade Cruzeiro do Sul: São Paulo, 2011.

TANCO, Martin *et al.* ***How is experimentation carried out by companies? A survey of three european regions***. *Industrial management*: San Sebastián, 2008.

TERENCE, Ana C. F.e FILHO, Edmundo E. **Abordagem quantitativa, qualitativa e a utilização da pesquisa-ação nos estudos organizacionais**. XXVI Enegep: Fortaleza, 2006.

TRIPP, David. **Pesquisa-ação**: Uma introdução metodológica. Educação e Pesquisa, n. 3, p. 443-466, set./dez.: São Paulo, 2005. 31 v.

VALENTE, José A. *et. al.* **O computador na sociedade do conhecimento**: Ministério da educação. Brasília.

VILAÇA, Márcio L. C. **Pesquisa e ensino**: considerações e reflexões. Revista do Curso de letras da Uniabeu, Número 2, Mai. –Ago: Nilópolis, 2010. I v.

WARNER, C. B.; MEEHAN, A. M. **Microsoft Excel™ As a Tool for Teaching Basic Statistics**. University of Pennsylvania: Pennsylvania, 2015.