



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TELEINFORMÁTICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TELEINFORMÁTICA**

**RÉGIA TALINA SILVA ARAÚJO**

**ENSINO DE ENGENHARIA VIA *E-LEARNING*: RELAÇÃO ENTRE USO DE  
SIMULADORES, AMBIENTE VIRTUAL E *DESIGN* INSTRUCIONAL DO  
CONTEÚDO**

**FORTALEZA**

**2017**

RÉGIA TALINA SILVA ARAÚJO

ENSINO DE ENGENHARIA VIA *E-LEARNING*: RELAÇÃO ENTRE USO DE  
SIMULADORES, AMBIENTE VIRTUAL E *DESIGN* INSTRUCIONAL DO CONTEÚDO

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Engenharia de Teleinformática do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Teleinformática do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de doutor em Engenharia em Teleinformática. Área de Concentração: Engenharia em Teleinformática

Orientadora: Profa. Dra. Fátima Nelsi-zeuma Sombra de Medeiros

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

A691e Araújo, Régia Talina Silva.

Ensino de Engenharia via e-learning: relação entre uso de simuladores, ambiente virtual e design instrucional do conteúdo / Régia Talina Silva Araújo. – 2017.  
125 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Teleinformática, Fortaleza, 2017.

Orientação: Profa. Dra. Fátima Nelsizeuma Sombra de Medeiros.

1. Educação em engenharia. 2. Ensino de engenharia a distância. 3. Design instrucional de conteúdo. 4. Análise estatística. I. Título.

CDD 621.38

---

RÉGIA TALINA SILVA ARAÚJO

ENSINO DE ENGENHARIA VIA *E-LEARNING*: RELAÇÃO ENTRE USO DE  
SIMULADORES, AMBIENTE VIRTUAL E *DESIGN* INSTRUCIONAL DO CONTEÚDO

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Engenharia de Teleinformática do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Teleinformática do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de doutor em Engenharia em Teleinformática. Área de Concentração: Engenharia em Teleinformática

Aprovada em: 14 de junho de 2017

BANCA EXAMINADORA

---

Profa. Dra. Fátima Nelsizeuma Sombra de Medeiros (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Paulo César Cortez  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Giovanni Cordeiro Barroso  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Anselmo Cardoso de Paiva  
Universidade Federal do Maranhão(UFMA)

---

Prof. Dra. Elizabeth Matos Rocha  
Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)

À minha mãe e à minha irmã, minhas grandes  
incentivadoras, aos meus filhos amados, Letícia  
e Caio, e ao meu amado marido e companheiro,  
Edervaldo.

## AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Fátima Sombra, por acreditar, confiar e acima de tudo me guiar nos momentos mais difíceis desta pesquisa e da vida acadêmica.

Aos meus filhos, Letícia e Caio, por entenderem minha ausência familiar e me apresentarem um olhar de compreensão, confiança e fé.

Ao meu marido, por se dedicar à família e ser um grande e completo companheiro na vida e no trabalho.

À minha irmã, Nukácia por ser uma rocha e por acreditar, me incentivar e me ajudar sempre. À minha mãe, Edmar, que sempre foi exemplo de dedicação, fé e compreensão. Aos meus irmãos Breno, Glauco, Jivago e Túlio pelos momentos de aconchego e confiança.

Aos meus sobrinhos, Jocélio e Raquel, por estarem presentes e prontos a ajudar em todos os momentos.

Aos amigos que fiz no LABVIS, em especial à Brígida, Alixandre, Daniel, Jeová e Marcelo; à minha sobrinha torta, Kelly, que ganhei de presente na vida e à Janaína Marques, pelo companherismo e pela ajuda no desenvolvimento desse trabalho.

Ao Renato Vasconcelos, secretário da Pós-Graduação em Engenharia de Teleinformática pela competência e pelo zelo. À Miraneide pelos cafés, orações e companheirismo.

Ao IFCE, em especial à Diretoria de Educação a Distância, que despertou a sede de democratizar o ensino de qualidade na área de Engenharia na modalidade a distância, com inquietudes de respostas e soluções, para que pudéssemos contribuir na melhoria do ensino.

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Engenharia de Teleinformática, pela dedicação e responsabilidade como docentes. Ao professor Giovanni Cordeiro, pela simplicidade, competência e pelo apoio e colaboração no decorrer dessa caminhada.

À professora Eliane Schlemmer, pelas contribuições apontadas na qualificação.

À professora Elizabeth Matos, pelo aceite em participar da etapa final deste trabalho e pelas contribuições apontadas.

Ao professor Anselmo, pela disponibilidade, presteza e pela possibilidade de dialogar nessa última etapa.

Ao professor Paulo César Cortez, que me acompanha desde a graduação, pelos incentivos, pelo cuidado, pela semente plantada baseada nos estudos e pela confiança em dias melhores.

À FUNCAP e ao CNPq pelo apoio financeiro.

“Só se pode alcançar um grande êxito  
quando nos mantemos fiéis a nós mesmos“

(Friedrich Nietzsche)

## RESUMO

O objetivo central desta pesquisa é aferir estatisticamente a eficácia da aprendizagem em cursos *e-learning* na área de engenharia. Nessa perspectiva, delineou-se a seguinte questão de pesquisa: os recursos educacionais disponíveis em cursos *on-line* na área de engenharia, como Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA), o *Design* Instrucional do Conteúdo e Simulações impactam na eficácia de aprendizagem? Para cumprir o objetivo desta investigação, observamos a utilização desses recursos de aprendizagem em duas turmas de cursos a distância: em uma turma piloto do curso de Eletrotécnica ofertado por uma instituição federal de ensino tecnológico, inserida na rede Escola Técnica Aberta do Brasil - E-TEC Brasil, na disciplina Sistemas Elétricos de Potência; em outra turma de um curso de extensão Processamento de Imagens e Reconhecimento de Padrões utilizando Python/Numpy – PIRP. Como procedimentos, na disciplina do curso de Eletrotécnica, além da análise do AVA e do *design* instrucional do conteúdo, foi observado o uso de um simulador interativo, desenvolvido a partir de técnicas de realidade virtual e teorias de aprendizagem de base cognitiva, para treinamento na área de distribuição de energia. No PIRP foram analisados também o AVA e o *design* instrucional de conteúdo e foram observadas simulações de programação disponíveis no ambiente Adessowiki. Além disso, foi aplicado um instrumento de avaliação aos alunos dos dois cursos. Para testar a eficácia da aprendizagem, foram utilizados métodos estatísticos na análise dos instrumentos, quais sejam: estatística descritiva, análise de componentes principais (ACP), análise de confiabilidade e análise de correlação canônica (ACC). Os resultados da análise estatística comprovaram a importância dos três recursos educacionais investigados na aprendizagem. Na análise da estatística descritiva foi criado um índice de representatividade de cada questão por recurso educacional testado, a partir de que podem ser observadas características relevantes a serem consideradas em cursos ofertados na modalidade a distância na área de engenharia. Outra contribuição da análise descritiva foi o uso da matriz de independência aplicada aos dados coletados, pois permitiu identificar oportunidades de melhoria da satisfação do estudante, ilustrando pontos fortes e fragilidades institucionais. Na análise multivariada, através da correlação canônica com os dados do curso PIRP, verificamos a contribuição positiva de dois grupos, advindos da aplicação ACP: Funcionalidade do AVA e *Design* de Conteúdo e Simulações na eficácia de aprendizagem.

**Palavras-chave:** Educação em engenharia. Ensino de engenharia a distância. *Design* instrucional de conteúdo. Análise estatística.



## ABSTRACT

The main objective of this research is to statistically assess the learning effectiveness in e-learning engineering courses. Given this context, the following research question was outlined: Do educational resources available in on-line engineering courses, such as Virtual Learning Environment (VLE), Design of Content and simulations, impact on learning effectiveness? To fulfill this objective, we have observed these learning resources in two classes of distance learning courses: a pilot team electrical-engineering course offered by a Federal institute of technological education, part of the Brazilian Open-Tech-School Network E-TEC Brazil, in the discipline of Electric Power Systems; and an extension course on Image Processing and Pattern Recognition using Python / NumPy – PIRP. As a procedure, the use of an interactive simulator was observed in the respective discipline of the Electrotechnical course, as well as the AVA analysis and instructional content design. The development of the simulator was based on virtual reality techniques and cognitive-learning-basis theories, in order to provide training courses in power distribution theme. In PIRP, AVA and instructional content design were also analyzed, and programming simulations available in Adessowiki environments were observed. An evaluation instrument was also applied to the students of both courses. In order to test the effectiveness learning of these resources, we have used the following statistical methods: descriptive and multivariate statistics, namely the principal component analysis (PCA), as well as reliability analysis and canonical correlation analysis (CCA). The results of the statistical analysis confirmed the importance of the three investigated educational resources for learning effectiveness. In this research, we introduced descriptive statistical analysis in terms of a representative index for each question of the educational resource under test. Thus, it possible to observe relevant characteristics to be considered in online engineering courses. Another important contribution of the descriptive statistical analysis is that it enabled identifying opportunities to increase student satisfaction by illustrating institutional strengths and weaknesses. The multivariate analysis by canonical correlation over PIRP course data confirmed the positive contribution of the tested resources through AVA Functionality, Design of Content and Simulations in the effectiveness learning.

**Keywords:** Engineering education. Distance education in engineering. Instructional content design. Statistical analysis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Números de ingressantes em curso de graduação, por modalidade de ensino no Brasil de 2003 a 2014 . . . . .	31
Figura 2 – Metodologia do desenvolvimento do simulador . . . . .	75
Figura 3 – Sistematização de uma unidade instrucional . . . . .	75
Figura 4 – Fluxo Modelagem 3D - Cenários e equipamentos . . . . .	77
Figura 5 – Categorização dos componentes gráficos da terceira atividade . . . . .	78
Figura 6 – Fluxo Programação e animação . . . . .	79
Figura 7 – Representatividade de cada questão no recurso funcionalidade do AVA - <i>Rec 1</i>	86
Figura 8 – Representatividade de cada questão no recurso <i>design</i> instrucional do conteúdo - <i>Rec 2</i> . . . . .	87
Figura 9 – Representatividade de cada questão no recurso uso do simulador - <i>Rec 3</i> . .	88
Figura 10 – Representatividade de cada questão em relação ao grau de satisfação do estudante . . . . .	88
Figura 11 – Relação entre as questões nos recursos <i>versus</i> grau de satisfação . . . . .	89
Figura 12 – Ambiente do simulador . . . . .	90
Figura 13 – Ambiente do simulador . . . . .	91
Figura 14 – Exemplo de atividade proposta no simulador . . . . .	92
Figura 15 – Matriz de correlação de Pearson extraída dos dados dos respondentes do instrumento de avaliação com os 21 itens . . . . .	103
Figura 16 – Relação CP1 e CP2 . . . . .	106
Figura 17 – Gráficos dos pares canônicos referentes ao Grupo I com Grau de Satisfação.	109
Figura 18 – Gráficos dos pares canônicos referentes ao Grupo II com Grau de Satisfação.	110

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Primeiras escolas de engenharia no mundo . . . . .	24
Tabela 2 – Componentes instrucionais sob diferentes orientações teóricas . . . . .	42
Tabela 3 – Questões relacionadas aos recursos 1, 2 e 3 presentes no instrumento de avaliação da eficácia da aprendizagem . . . . .	82
Tabela 4 – Questões do instrumento relacionadas ao grau de satisfação dos estudantes .	83
Tabela 5 – Níveis de escolaridade . . . . .	84
Tabela 6 – Somatório dos escores por recurso . . . . .	85
Tabela 7 – Média e desvio padrão dos escores obtidos . . . . .	85
Tabela 8 – Questões relacionadas aos recursos 1, 2 e 3 presentes no instrumento de avaliação da eficácia da aprendizagem - curso <i>MOOC</i> . . . . .	100
Tabela 9 – Questões do instrumento relacionadas ao grau de satisfação dos estudantes - curso <i>MOOC</i> . . . . .	101
Tabela 10 – Testes aplicados ao modelo ACP . . . . .	104
Tabela 11 – Autovalores da matriz de correlação da Figura 15 . . . . .	105
Tabela 12 – Agrupamento com análise de especialistas . . . . .	106
Tabela 13 – Análise de agrupamento após análise estatística . . . . .	107
Tabela 14 – ACC que relaciona funcionalidades do AVA (grupo I) com grau de satisfação	108
Tabela 15 – ACC que relaciona <i>design</i> instrucional de conteúdo e simulações (grupo II) com grau de satisfação . . . . .	108

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Motivações . . . . .</b>	<b>15</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivo . . . . .</b>	<b>19</b>
<b>1.3</b>	<b>Contribuições do Trabalho . . . . .</b>	<b>19</b>
<b>1.4</b>	<b>Produção Científica . . . . .</b>	<b>20</b>
<b>1.5</b>	<b>Estrutura da Tese . . . . .</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA . . . . .</b>	<b>22</b>
<b>2.1</b>	<b>Estado da Arte . . . . .</b>	<b>22</b>
<b>2.2</b>	<b>Análise do Cenário dos Cursos de Engenharia na Modalidade a Distância</b>	<b>28</b>
<b>2.3</b>	<b>Aspectos do Ensino de Engenharia: Metodologia e Recursos Educacionais</b>	<b>32</b>
<b>2.4</b>	<b>Teoria de Aprendizagem no Ensino de Engenharia . . . . .</b>	<b>34</b>
<b>3</b>	<b>TÉCNICAS ESTATÍSTICAS MULTIVARIADAS APLICADAS . . . . .</b>	<b>46</b>
<b>3.1</b>	<b>Análise de Componentes Principais . . . . .</b>	<b>46</b>
<b>3.1.1</b>	<i>Componentes principais via matriz de covariância . . . . .</i>	<i>51</i>
<b>3.1.2</b>	<i>Representação matricial dos componentes principais . . . . .</i>	<i>52</i>
<b>3.1.3</b>	<i>Componentes principais via matriz de correlação . . . . .</i>	<i>55</i>
<b>3.1.4</b>	<i>Testes para validação do modelo de componentes principais . . . . .</i>	<i>58</i>
<b>3.1.5</b>	<i>Critérios de seleção dos componentes principais . . . . .</i>	<i>62</i>
<b>3.2</b>	<b>Análise de Correlação Canônica . . . . .</b>	<b>64</b>
<b>3.2.1</b>	<i>Variáveis Canônicas . . . . .</i>	<i>65</i>
<b>3.2.2</b>	<i>Validação do modelo ACC e das funções canônicas geradas . . . . .</i>	<i>67</i>
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DO SIMULADOR INTERATIVO PARA TREINAMENTO NA ÁREA DE ENGENHARIA ELÉTRICA . . . . .</b>	<b>69</b>
<b>4.1</b>	<b>Realidade Virtual no Ensino de Engenharia . . . . .</b>	<b>69</b>
<b>4.2</b>	<b>Contexto de Concepção do Simulador: Operação e Manutenção de Redes de Distribuição Aéreas no Brasil . . . . .</b>	<b>71</b>
<b>4.3</b>	<b>Desenvolvimento, Implementação, Teste e Aferição da Eficácia de Aprendizagem do Simulador Interativo . . . . .</b>	<b>74</b>
<b>4.4</b>	<b>Resultados e Discussões . . . . .</b>	<b>90</b>

<b>5</b>	<b>AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA MULTIVARIADA DA EFICÁCIA DA APREN- DIZAGEM EM CURSOS ON-LINE . . . . .</b>	<b>95</b>
<b>5.1</b>	<b>Curso Avaliado - Características e Considerações . . . . .</b>	<b>96</b>
<b>5.2</b>	<b>Instrumento de Avaliação . . . . .</b>	<b>99</b>
<b>5.3</b>	<b>Métodos para Análise de Dados . . . . .</b>	<b>101</b>
<b>5.3.1</b>	<i>Teste para validação do modelo ACP . . . . .</i>	<i>102</i>
<b>5.3.2</b>	<i>Aplicação da análise de componentes principais . . . . .</i>	<i>104</i>
<b>5.3.3</b>	<i>Aplicação da análise de correlação canônica . . . . .</i>	<i>106</i>
<b>5.3.4</b>	<i>Resultados e Discussões . . . . .</i>	<i>109</i>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS . . . . .</b>	<b>113</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>117</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A origem da engenharia pode ser entendida por dois períodos distintos. Segundo Oliveira *et al.* (2010), se a engenharia for considerada como emprego de métodos e técnicas para construir, transformar materiais e fabricar ferramentas, a sua origem confunde-se com a origem da civilização. Por outro lado, se considerarmos a engenharia como conhecimento organizado e estruturado em bases científicas, sua origem é relativamente recente, principalmente se considerada dentro do contexto da educação superior.

É importante ressaltar que o desenvolvimento da engenharia e da educação em engenharia estão intrinsecamente relacionados com os avanços da ciência e da tecnologia. À medida que a tecnologia vai se tornando mais complexa, em termos de necessidade de conhecimentos de base matemática, física, química, expressão gráfica, entre outros, para solucionar problemas e projetar soluções, ela torna-se objeto de estudo e aplicação do campo da Engenharia (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Apesar da evolução tecnológica e do avanço da ciência, o que se observa de maneira geral é que o modelo organizacional dos cursos de engenharia não sofreu grandes alterações ao longo dos séculos. O cerne da organização curricular dos cursos ainda é a divisão em básico, básico em engenharia e profissionalizante, que prevaleceu no modelo das *Écoles* francesas fundado no século XVIII, com disciplinas fragmentadas e, não raras, descontextualizadas do seu meio de inserção e de aplicação. As mudanças que têm ocorrido nos cursos, desde então, primam pelo viés de reforma e de adequação que não chegam a alterar a concepção original (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

Embora os cursos de engenharia não tenham sofrido grandes transformações organizacionais, grandes transformações aconteceram no mundo e nos diversos setores de aplicação na engenharia, carecendo, assim, de investigações e mudanças na formação de engenheiros para atender a demanda e as exigências atuais do mercado de trabalho.

Portanto, evidenciam-se, no mundo inteiro, desafios significativos na investigação de novas metodologias, formas de aprender e ensinar com o objetivo de estimular estudantes para ingressarem e concluírem cursos na área de engenharia. O desafio é ainda maior para cursos ofertados nessa área na modalidade a distância. Essa modalidade de ensino exige variáveis como infraestrutura tecnológica, planejamento contínuo, equipe multidisciplinar engajada e metodologias que envolvam todos os atores necessários, como professores, alunos e gestores com *feedbacks* constantes para incentivar um aprendizado contínuo e prático exigido pela área

em estudo.

Corroborando com os desafios anteriormente citados, os Estados Unidos (EUA), por exemplo, através de numerosos esforços governamentais e de instituições de ensino superior visam aumentar a consciência, o interesse e a participação dos estudantes nas áreas de ciência, tecnologia, engenharia e matemática (SARGENT, 2014; RIOJAS *et al.*, 2012). Entretanto, para cursos na área de engenharia, nos EUA, há vários obstáculos para escolha por parte dos estudantes, tais como pequena representatividade de mulheres no campo de trabalho (NATIONAL SCIENCE FOUNDATION, 2015; JONES, 2010), pouca procura e pouco entendimento do que é o exercício profissional da engenharia por parte dos jovens e baixo desempenho nacional em campos relacionados à matemática e à ciência (RIOJAS *et al.*, 2012).

No Reino Unido, há uma preocupação em relação ao déficit de profissionais na área de engenharia (TITLEY, 2014; ENGINEERING UK, 2015; ENGINEERING UK, 2016). Segundo Titley (2014), a Grã-Bretanha requer mais de 110 mil profissionais na área de engenharia para atender ao mercado e só consegue formar apenas 2/3 desse número. De acordo com pesquisas realizadas em Engineering UK (2016), há três pontos relevantes nesse relatório. O primeiro se reporta às contribuições relevantes que a engenharia e engenheiros qualificados apresentam para a economia no Reino Unido; além disso, o campo da engenharia e seus profissionais podem contribuir para mitigar os grandes desafios globais, como mudanças climáticas, envelhecimento populacional, entre outros. O segundo ponto relata a preocupação do governo do Reino Unido, em relação ao déficit de profissionais na área de engenharia para atender a demanda desses países até 2022. No terceiro ponto, os pesquisadores chamam a atenção para a importância de ações em conjunto com a comunidade de engenharia, no sentido de trabalhar em conjunto com universidades e escolas com a finalidade de inspirar futuras gerações a seguir e concluir cursos na área de engenharia.

No Brasil, nos últimos vinte anos, assistimos a um notável processo de crescimento no ensino superior. Scavarda *et al.*(2015) analisando os dados do observatório de educação em engenharia no período 1950 a 2012 sobre o crescimento do número de cursos de engenharia no Brasil, constataram que houve um crescimento ascendente de cursos a partir de 1973, ano em que foi criada a Associação Brasileira de Educação em Engenharia (ABENGE). Segundo esses autores, o crescimento ascendente a partir de 1973 é resultado de 20 anos de esforços da comunidade de engenharia e de programas nacionais. No entanto, apesar do aumento da oferta de vagas nesse segmento, pesquisas relatam que há elevadas taxas de abandono e insucesso no

ensino superior no país (NUNES, 2015b). Pesquisas como a de Schwartzman (1992), Nunes (2015a), Scavarda, Oliveira e Almeida (2015), Teixeira e Mota (2016) corroboram com esses dados e afirmam que os cursos de engenharia no país apresentam altas taxas de evasão e de reprovação.

Assim como nos EUA e no Reino Unido, no Brasil, o governo junto com instituições de ensino superior, com o setor produtivo e com a sociedade civil vêm incentivando a oferta e políticas para aumentar o interesse de ingressar e reter estudantes em cursos na área de engenharia. A exemplo desse fato, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e a Vale S. A (empresa brasileira de mineração) lançaram em 2012 uma chamada pública, no 05/2012-Forma-Engenharia, visando selecionar propostas para apoio financeiro a projetos que estimulassem a formação em engenharia no país e que combatessem a evasão.

Nesse sentido, constatamos que a educação em engenharia, como um campo de estudo, é desafiadora, recente e pouco explorada, assim como, na atualidade, existem poucos investigadores experientes que tratem de questões complexas de aprendizagem associadas à tarefa de formar engenheiros. Considerando essa perspectiva, neste estudo delineou-se a seguinte questão de pesquisa: os recursos educacionais disponíveis em cursos *on-line* na área de engenharia, como Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA), o *Design* Instrucional do Conteúdo e Simulações impactam na eficácia de aprendizagem? O objetivo geral da pesquisa é aferir estatisticamente a eficácia da aprendizagem em cursos *e-learning* na área de engenharia. Para cumprir o objetivo dessa investigação foi observada a utilização desses recursos de aprendizagem em duas turmas de cursos a distância através de um instrumento de avaliação. Para testar a eficácia da aprendizagem, foram utilizados métodos estatísticos na análise dos instrumentos, quais sejam: estatística descritiva, análise de componentes principais, análise de confiabilidade e análise de correlação canônica.

## 1.1 Motivações

O exercício do profissional de engenharia vem enfrentando desafios inéditos resultantes da globalização, da imagem pública negativa e do baixo interesse entre os estudantes (BORREGO *et al.*, 2014). Para resolver desafios, tais como problemas técnicos de tornar a energia solar acessível, proporcionar o acesso à água potável, restaurar e melhorar a infraestrutura urbana e garantir o ciberespaço seguro, as instituições de ensino que ofertam cursos na área de engenharia devem atrair, reter e preparar um grupo diversificado de estudantes para resolver



problemas complexos, que, uma vez solucionados, podem melhorar a vida no planeta, otimizar recursos naturais etc. Para tanto, as instituições de ensino precisam unir esforços com uma parcela de setores da sociedade, tais como governo e setores da indústria, além de consultar pesquisas desenvolvidas na academia, abrindo, assim, espaço para o campo de estudo de ensino de engenharia.

A pesquisa em ensino de engenharia envolve questões de investigação relacionadas às teorias e práticas do ensino, aos métodos e às experiências que levam à eficácia na aprendizagem e nas investigações sobre aprendizagem do estudante. Além disso, as investigações na área tentam responder por que ou como se dá a aprendizagem, relacionando-a com teorias sociais, pedagógicas ou de aprendizagem, interpretando e/ou sistematizando os resultados.

Dada a necessidade de mudanças na formação do profissional de engenharia e as necessidades de entender problemas característicos de evasão na área, por exemplo, aumenta o interesse de engenheiros adentrarem nesse universo de estudo, mesmo que ainda de forma incipiente. Notadamente, há um vasto horizonte para pesquisas nessa área que busca novas metodologias, novas formas de ensinar voltadas para a melhoria do processo de ensino-aprendizagem na área de engenharia, seja na modalidade de ensino presencial seja a distância. Esta é, portanto, a primeira motivação para esta pesquisa.

De acordo com os dados do Censo da Educação Superior 2013 (TÉCNICO, 2015), existem 32.049 cursos de graduação nas modalidades presencial e a distância. Desse número, 1.258 cursos são ofertados na modalidade a distância. Nessa última modalidade, há 53 na área de engenharia. Na modalidade a distância, a existência de cursos nessa área, marca, assim, 4,21% do total da oferta no país.

O que se observa de dados disponíveis no censo é que apesar da educação a distância representar uma pequena parcela do total de cursos de graduação, comparando com dados de 2010 a 2013, houve um aumento de 35,3% na oferta nessa modalidade de ensino. Assim, esses dados indicam que a tendência da educação a distância no Brasil é de crescimento e que essa modalidade de ensino está cada vez mais fazendo parte do cotidiano brasileiro, inclusive na área de engenharia, fato que também demanda pesquisa na área.

Uma das vantagens da modalidade de ensino a distância (EaD) é a chamada “presença a distância”. Em outras palavras, em EaD, é possível romper barreiras físicas e temporais e oportunizar a democratização da educação superior, já que pode haver oferta de cursos nos locais mais remotos e longe de grandes centros urbanos. A educação a distância é caracterizada, via

decreto nº 5622 de 19 de dezembro de 2005 (BRASIL,2005), como modalidade educacional na qual a mediação didático-pedagógica nos processos de ensino e aprendizagem ocorre com a utilização de meios e tecnologias de informação e comunicação, com estudantes e professores desenvolvendo atividades educativas em lugares ou tempos diversos.

Corroborando com a mesma ideia de democratização do ensino superior nessa modalidade, estão a educação profissionalizante em nível técnico e os cursos *on-line* gratuitos ofertados geralmente por universidades de excelência, também chamados de *MOOC* (*Massive Open Online Course*).

Um exemplo de oferta de cursos técnicos na EaD são aqueles realizados através de incentivos do Governo Federal por meio da rede e-TEC Brasil. Essa rede tem como objetivo principal desenvolver a educação profissional e tecnológica no país na modalidade de educação a distância. O e-Tec Brasil foi instituído pelo Decreto nº 7.589, de 26 de outubro de 2011 (BRASIL, 2011). O acesso a esses cursos acontece, geralmente, via processo de seleção. Os conteúdos são disponibilizados numa plataforma virtual de aprendizagem, o *Moodle*<sup>1</sup>, onde também se dá a interação com os diversos profissionais envolvidos no processo ensino-aprendizagem.

Já os *MOOCs* são geralmente cursos rápidos, ou de extensão, que atraem milhares de pessoas espalhadas pelo mundo que estão em busca de saber. Um exemplo de curso *on-line* gratuito na área de engenharia é ofertado pela UNICAMP: Processamento de Imagens e Reconhecimento de Padrões utilizando Python/Numpy – PIRP, que é aberto ao público e em que se utiliza como plataforma virtual de aprendizagem, o Adessowiki (MACHADO; RITTNER; LOTUFO, 2011; RITTER *et al.*, 2015). Essa plataforma é colaborativa, permite programação científica e escrita colaborativa de artigo. Ela é baseada na *web 2.0* e possibilita interação entre os participantes, seja entre estudantes e/ou monitores, seja entre os pares (estudantes/estudantes; monitores/monitores), e permite também a simulação de diversas aplicações na área de engenharia, como em reconhecimento de padrões e processamento de imagens.

Consideramos nesta pesquisa que os cursos superiores, técnicos e *MOOCs* citados utilizam a aprendizagem por *e-learning*, ou seja, nesses cursos, a comunicação humana é mediada por computador, e, para isso, se utilizam tecnologias e recursos educacionais com o propósito de oferecer ambientes educacionais *on-line*. Seja por uso de *e-mail*, *blogs*, simuladores e/ou plataformas de aprendizagem educacionais.

---

<sup>1</sup> *Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment* é um software livre utilizado como plataforma virtual de ensino e aprendizagem utilizada por diversas instituições. Disponível para download em: <https://download.moodle.org>.

Além de plataformas educacionais e uso de simulações, outro recurso educacional que deve ser considerado no ensino a distância de engenharia é a transposição didática eficaz do saber aplicado, ou seja, é a forma como o conteúdo será disposto para os estudantes. Entende-se, por transposição didática, o processo de “didatização” dos conteúdos, isto é, o processo de transformação do saber científico em saber ensinado, passando pelo saber ensinável.

Segundo Posidoro e Stigar (2010), para que um determinado conhecimento seja ensinado, dentro de um contexto acadêmico-científico ou escolar, ele necessita passar por uma transformação. Esse processo de transformação do conhecimento se dá porque os funcionamentos didáticos e científicos não são os mesmos, eles se inter-relacionam, mas não se sobrepõem. Assim, cada transformação sofrida pelo conhecimento é chamada de transposição didática. Esse processo envolve inter-relacionar o conhecimento acadêmico, adequando-o às possibilidades cognitivas dos estudantes e exemplificando-o de acordo com a realidade do estudante.

A transposição de conteúdos de prática, na área de engenharia, por exemplo, adquire uma importância para além da comunicação e da linguagem, pois o estudante irá também manipular e controlar objetos, equipamentos e instrumentos que serão utilizados em sua prática profissional. Nessa ação, a amplitude e a complexidade se verificam pelos conhecimentos transdisciplinares envolvidos no ensino (transposição) e na aprendizagem, por exemplo, de normas e de procedimentos legais que envolvem uma determinada atividade prática na vida profissional na área de engenharia.

Assim, a transposição didática do conteúdo está inserida em um dos recursos a serem investigados, o recurso *design* intrucional do conteúdo. Segundo Kenski (2015) o *design* intrucional é o processo de desenvolvimento de um projeto de ensino. Contextualizando para esta pesquisa, iremos nos restringir a avaliar o recurso *design* de conteúdo, observando a mediação entre educação, tecnologias, comunicação, produção criativa e gestão.

Para fins de verificação da exequibilidade e da adequabilidade dos meios, materiais, conteúdos e interações existentes na EaD para um resultado eficaz para o aprendiz, procurou-se na literatura instrumentos e técnicas de avaliação que pudessem aferir quantitativamente essas variáveis.

Pesquisando na literatura, verificou-se que há investigações sobre métodos de avaliação de desempenho e/ou eficácia docente em disciplinas na área de engenharia (NUNES *et al.*, 2015a; NUNES *et al.*, 2015b; KUMAR; KHADIR, 2013). Entretanto, existem lacunas em relação a instrumentos e métodos que possam aferir a eficácia de aprendizagem na área de

engenharia em cursos *e-learning* que auxiliem gestores e coordenadores a identificar, de forma sistemática, analítica e quantitativa, questões que precisam ser melhoradas, continuadas e/ou possivelmente eliminadas na oferta de um curso na modalidade a distância na área de engenharia. Tendo exposto os diversos aspectos que motivaram esta pesquisa, passemos aos objetivos.

## 1.2 Objetivo

O objetivo geral da pesquisa é aferir estatisticamente a eficácia da aprendizagem em cursos *e-learning* na área de engenharia. Os objetivos específicos são:

- (a) Desenvolver um instrumento de avaliação para testar a eficácia da aprendizagem em cursos na área de engenharia;
- (b) Aplicar um instrumento de avaliação para testar a eficácia da aprendizagem em cursos na área de engenharia;
- (c) Avaliar o impacto dos seguintes recursos educacionais: *design* instrucional do conteúdo, funcionalidades dos ambientes virtuais de aprendizagens e uso de simuladores para a eficácia da aprendizagem no ensino de engenharia;
- (d) Analisar estatisticamente a eficácia da aprendizagem e o grau de satisfação dos alunos em relação a cursos/disciplinas ofertadas na modalidade a distância na área de engenharia elétrica.

## 1.3 Contribuições do Trabalho

As contribuições desta pesquisa são as seguintes:

- (a) Pesquisa, investigação e análise estatística de recursos educacionais;
- (b) Contribuição no campo de ensino de engenharia no que diz respeito à discussão e análise de recursos educacionais, tais como simulador em realidade virtual (RV);
- (c) Elaboração de instrumento de avaliação da eficácia da aprendizagem em cursos *e-learning* na área de engenharia;
- (d) Criação de um índice de representatividade de cada variável do instrumento, por recurso educacional testado, a partir do qual podem ser observadas características relevantes a serem consideradas em cursos ofertados na modalidade a distância na área de engenharia;
- (e) investigação, por intermédio da aferição estatística, as variáveis relevantes para observar a eficácia na aprendizagem através de técnicas multivariadas, observando relações que

porventura existam entre as diversas variáveis na investigação.

#### 1.4 Produção Científica

No período da pesquisa foram publicados 3 artigos em revistas indexadas pela CAPES; 2 trabalhos em congressos, sendo um nacional e o outro internacional; foi gerado um programa de computador sem registro de patente e desenvolvido um manual técnico e um guia didático do simulador. Abaixo seguem as referências dos trabalhos realizados.

(i) Artigos completos publicados em periódicos

ARAÚJO, R. T. S. *et al.*, A Statistical Analysis of the Learning Effectiveness in Online Engineering Courses. *Revista IEEE América Latina*, v. 15, n. 2, p.300-309, 2017.

ARAÚJO, R. T. S. *et al.*, Interactive Simulator for Electric Engineering Training. *Revista IEEE América Latina*, v. 14, p. 2246-2252, 2016.

ARAÚJO, R. T. S. *et al.*, Modelagem de um sistema de gestão na Educação a Distância no Brasil utilizando redes de Petri Coloridas. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería (En línea)*, v. 23, p. 145-158, 2015.

(ii) Trabalho completo publicado em anais de conferências

ARAÚJO, R. T. S. *et al.*, Análise do desempenho docente para disciplinas técnicas da área de engenharia: eficácia da transposição didática à luz do SEEQ. *XLIII Congresso Brasileiro de Ensino em Engenharia-COBENGE 2015 - Aprendizagem Ativa: Engenheiros colaborativos para um mundo competitivo*, São Bernardo do Campo-SP, 2015.

(iii) Resumo expandido publicado em anais de congresso

ARAÚJO, R. T. S. *et al.*, Modelagem e animação de objetos de um sistema de distribuição de energia. In: *XIX Conferência Internacional sobre Informática na Educação - TISE, 2014*, Nuevas Ideas en Informática Educativa. Santiago: Universidade do Chile, v. 10, Fortaleza, 2014.

(iv) Programa de computador sem registro

ARAÚJO, R. T. S. *et al.* Simulador para Operação e Manutenção de Chaves de Manobra em Redes de Distribuição de Energia, 2014.

(v) Desenvolvimento de material didático ou instrucional:

ARAÚJO, M. E. S.; ARAÚJO, R. T. S., Manual Técnico do Simulador de Operações em Redes de Distribuição de Energia Elétrica. 2016.

ARAÚJO, M. E. S.; ARAÚJO, R. T. S., Guia Didático de Aplicação - Simulador de

Operações em Redes de Distribuição de Energia Elétrica. 2016.

## **1.5 Estrutura da Tese**

Além desta introdução, os capítulos seguintes deste trabalho apresentam os aspectos relevantes do processo de investigação da eficácia de aprendizagem em cursos na área de engenharia ofertados *on-line*. Os Capítulos 2 e 3 abordam o referencial teórico necessário para fundamentar a pesquisa. Assim, o Capítulo 2 aborda educação em engenharia, o seu estado da arte, aspectos sobre a oferta de cursos na área de engenharia na modalidade presencial e a distância e apresenta metodologia e recursos educacionais que podem ser utilizados nas duas modalidades de ensino. O Capítulo 3 descreve as técnicas estatísticas abordadas na investigação. O Capítulo 4 apresenta o desenvolvimento de um simulador interativo para o ensino de engenharia, que foi analisado nesta pesquisa sob a ótica da investigação da eficácia na aprendizagem. Esse capítulo traz a primeira contribuição dessa tese. O Capítulo 5 apresenta outra contribuição da tese, que é a metodologia de avaliação estatística multivariada da eficácia de aprendizagem em cursos *on-line*. Finalmente, o Capítulo 6 apresenta conclusões e trabalhos futuros.

## 2 EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA

Este capítulo contém um breve histórico da formação em engenharia, abordando aspectos científicos e tecnológicos, leis e resoluções que explicam a evolução da engenharia no Brasil nas modalidades de ensino presencial e a distância, metodologias, recursos educacionais e teorias de aprendizagem empregados nessa área.

### 2.1 Estado da Arte

É possível entender a origem da engenharia a partir de dois períodos distintos, pela origem da civilização e por um período recente, ou até mesmo, classificá-la como engenharia antiga e engenharia moderna, respectivamente.

Bazzo e Pereira (2006) ressaltam que ao longo dos séculos, invenções e descobertas foram realizadas, e os conhecimentos foram se acumulando, porém a essência para tudo isso acontecer concentrava-se na força da experiência prática de vários artesãos, que aperfeiçoavam empiricamente seus produtos ou processos, transmitindo suas técnicas de fabricação para novas gerações, conhecida como engenharia antiga.

Se consideramos a origem da engenharia segundo conhecimento organizado e estruturado em bases científicas, sua origem é relativamente recente (ROCHA *et al.*, 2007) principalmente se levarmos em conta o contexto da educação superior, essa é a chamada engenharia moderna.

Tomando como base a origem das civilizações como surgimento da engenharia, desde a Antiguidade, já havia a prática dessa área através de invenções, inovações, descobertas, elaboração de teorias e obras de todos os tipos. Da invenção da roda e da alavanca, passando por vestimentas, eletricidade, comunicações, saúde e higiene, mobiliário, construção civil, arquitetura e tantas outras nas quais, de início, o saber era construído por observação e experimentação, teorias foram sendo construídas dando base para outras aplicações, e, conseqüentemente, áreas específicas foram se formando. Assim, matemática e física se fundem em teorias de base para desenvolvimento e aplicação de processos e produtos. O saber, então, se formaliza e é sistematizado para difusão em outra invenção humana: a escola. Nesse caso, não mais a oficina era o *locus* da aprendizagem. As profissões se padronizaram no conhecimento transmitido, aquele ensinado segundo uma matriz curricular.

Ao longo do tempo, a engenharia foi se estruturando, baseada fundamentalmente

no desenvolvimento da matemática, da explicação dos fenômenos físicos, dos experimentos realizados - em ambiente controlado -, da prática de campo, da sistematização de cursos formais. Quando, no século XVIII, se chegou a um conjunto sistemático e ordenado de doutrinas, estava lançada, definitivamente, a semente da nova engenharia. Essa sistematização, podemos dizer, estabeleceu um marco divisório entre duas engenharias: a engenharia do passado (origem das civilizações) e engenharia moderna (recente) (BAZZO; VALE, 2006).

Segundo Oliveira *et al.* (2010), a primeira escola para o ensino formal de engenharia no mundo foi fundada em 1747 por civis, na França, a *École Nationale des Ponts et Chaussées*. Essa escola sistematizou seus conhecimentos com ênfase nas construções, como precursora da engenharia civil atual a *École*, à época, formava basicamente construtores. Os autores ainda ressaltam que apesar de as primeiras escolas de engenharia na França terem sido fundadas por civis, em outros países as primeiras escolas de engenharia foram de origem militar. O diferencial na escola de origem militar é que havia a sistematização dos conhecimentos para formação militar, acrescidos das técnicas relacionadas à construção com fins militares, tais como fortificações, caminhos, pontes, entre outros.

Assim como a *École Nationale des Ponts et Chaussées*, a *École des Mines* foi fundada na França por civis em 1783. No entanto, essa escola surgiu com o foco na exploração de minas, sendo exigida aplicações das mais avançadas técnicas construtivas e mecânicas existentes à época. Em ambas as escolas, os estudantes iniciavam os estudos diretamente nas disciplinas técnicas, ou seja, não se tinham bases matemáticas e conhecimentos físicos nivelados entre os alunos, o que acarretava problemas de acompanhamento nos cursos. Esse problema foi solucionado no final do século XVII com a criação da *École Polytechnique* (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

A *École Polytechnique* foi fundada em 1745 e tinha como missão fornecer a seus estudantes uma sólida formação científica, iniciando por matemática, física e química, preparando-os para ingressar em escolas especializadas como a *École Nationale des Ponts et Chaussées* e a *École des Mines* (POLYTECHIQUE, 2017). Observa-se aqui o início da separação da estrutura curricular entre blocos, básicos e específicos.

O resumo das primeiras escolas de engenharia do mundo que apresentam características das escolas de engenharias atuais estão dispostas na Tabela 1.



Tabela 1 – Primeiras escolas de engenharia no mundo

Nome	Local	Ano de Fundação
Ecole des Ponts et Chaussées	Paris	1747
École des Mines	Paris	1783
École Polytechnique	Paris	1794
Bergakademie Freiberg	Alemanha	1765
Stavovska inženýrská škola	República Tcheca	1787
Academia Real de Artilharia, Fortificação e Desenho	Portugal	1790
Real Academia de Artilharia, Fortificação e Desenho	Brasil	1792
United States Military Academy	Estados Unidos	1802
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid	Espanha	1803
Kaiserlich-Königlich Polytechnisches Institut	Áustria	1815

Fonte – Adaptado de Oliveira *et al.* (2010)

O ensino de engenharia no Brasil não foi diferente. Alguns estudiosos relatam que ele teve início com as primeiras habitações construídas pelos nossos colonizadores (SANTOS, 2012; FREITAS, 2014). Outros pesquisadores porém, defendem que a engenharia começou de fato, tempos depois, com a atuação de engenheiros e construtores (FREITAS, 2014). Seguindo, assim, a mesma ideia do surgimento da engenharia do resto do mundo, a princípio, os profissionais que atuavam nessa área não se preocupavam com embasamentos científicos, mas apenas com a prática e com o empirismo.

A criação da engenharia como área no Brasil foi incentivada inicialmente pelo interesse militar (1699), depois surgiu a Real Academia de Artilharia, Fortificação e Desenho, fundada em 1792 no Rio de Janeiro. Em 1810, foi criada a primeira escola de engenharia para militares, a Academia Real Militar. Essa escola, passou por diversas modificações até se transformar na Escola Central em 1858. Em seguida, a Escola Politécnica do Rio de Janeiro e o Instituto Militar de Engenharia (IME), expandindo-se para outras engenharias. Formalizou-se, assim, a engenharia moderna no país.

A Escola Central foi criada através do Decreto nº 2.116 de 1<sup>o</sup> março de 1858 (BRASIL, 1858), o qual trata da nova organização das escolas militares e das doutrinas próprias da engenharia civil. Essa escola destinava-se ao ensino das matemáticas e ciências físicas e naturais e instituiu oficialmente o curso de engenharia civil, porém ainda somente para militares (SANTOS, 2012; BAZZO; PEREIRA, 2006; SANTOS; SILVA, 2008).

A Escola Politécnica do Rio de Janeiro foi a sucessora da Escola Central e foi criada através do Decreto Imperial nº 5.600, de 25 de abril de 1874 (BRASIL, 1874), que estabelecia o seu estatuto. Essa escola era voltada exclusivamente para o ensino das engenharias e era

subordinada a um ministro civil. Iniciou-se então uma escola de engenharia para civis (SANTOS; SILVA, 2008; SANTOS, 2012). A trajetória do IME remonta ao ano de 1792, com a criação da Real Academia, considerada a raiz do atual Instituto (IME, 2017).

A Escola Politécnica de São Paulo, por sua vez, foi criada em 1893 e inaugurada em 1894, como a primeira escola a oferecer formação em engenharia na área de eletricidade. Esse curso foi criado em 1911 e denominado de *engenheiro mecânico-eletricista* (QUEIRÓS *et al.*, 2010). A junção de áreas da mecânica e elétrica no curso pioneiro foi necessária, à época, para atender uma demanda de expectativa do crescimento da indústria nos setores siderúrgicos e metal-mecânicos.

Segundo Queirós *et al.* (2010), mais quatro cursos foram criados no país durante o período de 1911 a 1917 na área de eletricidade, denominados também de curso de *engenheiro mecânico-eletricista*. No entanto, a partir do final da década de 1950, esses cursos passaram a se chamar de curso de *engenheiro eletricista*. A mudança de nome e a especificidade da área estão atreladas às grandes construções de usinas de geração de energia hidroelétricas da época, por exemplo, a construção da usina de Tucuruí e Itaipu, que exigiu mão de obra qualificada e especializada. Surgiram também demandas de profissionais relacionadas aos projetos e execuções de sistemas de geração de energia, de linhas de transmissão a longas distâncias, dentre outras atividades.

Entretanto, somente em 1966, através da Lei nº 5.194 de 24 de dezembro (BRASIL, 1966) foi regularizado o exercício das profissões de engenheiro, arquiteto e engenheiro-agrônomo no país. Essa lei retrata as atividades, caracteriza os exercícios e as atribuições profissionais, a fiscalização e o registro do exercício profissional, dentre outras providências. Contudo, ela não explicitava a modalidade da engenharia, ou seja, retratava as profissões em termos genéricos.

Assim, considerando a necessidade de discriminar atividades das diferentes modalidades profissionais da engenharia, arquitetura e agronomia em nível superior e em nível médio, para fins da fiscalização de seu exercício profissional e atendendo ao disposto na alínea "b" do artigo 6º e parágrafo único do artigo 84 da Lei nº 5.194, de 24 de dezembro de 1966, entrou em vigor a Resolução nº 218, de 29 de junho de 1973 (BRASIL, 1973) que estabelece a distinção entre as modalidades de engenharia. A resolução contempla as atribuições para diversas engenharias, tais como para engenheiro eletricista; engenheiro eletricista modalidade eletrotécnica; engenheiro eletricista modalidade eletrônica, engenheiro eletrônico ou engenheiro de comunicações.

De acordo com Queirós (2010), dos 213 cursos de engenharia no Brasil em 1974,

havia cerca de 69 cursos na área de eletricidade. Assim, com o aumento dos cursos de engenharia no país, surgiu a necessidade de regulamentar a organização curricular desses cursos. Isso foi feito pelo Conselho Federal de Educação (CFE) através da Resolução nº 48, de 27 de abril de 1976.

A resolução 48/76 do CFE foi um dos movimentos mais importantes no que se refere à normalização dos cursos de engenharia no país. Essa resolução fixa os mínimos de conteúdos, as durações dos cursos e define as áreas e habilitações das engenharias. Os cursos de engenharia no Brasil até 1996 foram regulados por essa resolução.

Todavia, segundo alguns pesquisadores (BARROS; HADDAD, 2001; QUEIRÓS *et al.*, 2010), a resolução 48/76 foi muito criticada pela comunidade acadêmica das engenharias. Uma parte da comunidade entendeu que ela gerava uma restrição às instituições de ensino superior (IES) em relação à organização curricular dos seus cursos. Outro fator importante a destacar em relação a essa resolução é que os aspectos pedagógicos e metodológicos não foram considerados devidamente ou foram relegados a um segundo plano (PINTO; OLIVEIRA, 2012).

Tentando se adequar às mudanças e anseios da sociedade brasileira em relação à educação, em 1996 foi criada a Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996 (BRASIL, 1996), que estabelece as diretrizes e bases da educação nacional (LDB), trata da abrangência da educação, de seus princípios e fins em nível nacional, dos direitos e deveres de educar, da organização da educação nacional e reporta também os níveis e modalidades de ensino, as finalidades da educação básica à educação superior, dentre outros assuntos relacionados à educação.

Em 1997, por sua vez, abre-se uma discussão em nível nacional a respeito de um novo conceito para as instituições de ensino em relação à organização curricular dos cursos de engenharia, denominado Diretrizes Curriculares Nacionais. Com essas discussões, procurava-se uma flexibilidade maior na organização curricular na área de engenharia para atender uma demanda de mercado da sociedade moderna que exigia profissionais aptos no uso de ciência e tecnologia, em conceitos de reengenharia, em engenharia concorrente, em qualidade total e planejamento. Nasceu, assim, a Resolução CNE/CES 11, de 11 de março de 2002 (BRASIL, 2002).

A resolução CNE/CES de 11 de março de 2002 regulamentou as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) do Curso de Graduação em Engenharia. Os artigos dessa resolução, tratam da formação, habilidades e competências, perfil do egresso e estabelecem, independente de sua modalidade de ensino, que o currículo deve possuir um núcleo de conteúdos básicos,

um núcleo de conteúdos profissionalizantes e um núcleo de conteúdos específicos. Assim, tem-se uma estrutura modular no currículo da engenharia que remonta às primeiras escolas francesas. Essa legislação traz a intenção de alterar a base filosófica dos cursos de engenharia, apresentando como foco o desenvolvimento de habilidades como pré-requisito para formação de competências, buscando uma abordagem pedagógica centrada no aluno com ênfase na síntese e na transdisciplinaridade (PINTO; OLIVEIRA, 2012).

No entanto, segundo Freitas (2014), apesar das mudanças sociais que ocorreram no país, a metodologia de ensino de engenharia permaneceu quase estagnada, avançando muito pouco em relação aos demais campos de conhecimento e à própria civilização. Esse fato é comprovado, segundo o autor, por meio da análise de conteúdos e de abordagens e das matrizes curriculares que estão desatualizadas em relação aos avanços científico-tecnológicos da área.

Assim, apesar das mudanças através de leis, resoluções e mobilizações da comunidade acadêmica na área de engenharia, ainda há muito o que se investigar, mudar e transformar. Passando por conhecimento e aplicações de metodologia de ensino-aprendizagem, teorias de aprendizagem deveriam servir de base para desenhos instrucionais dos cursos para compor bases curriculares, objetivos, competências e habilidades, bem como o uso e a aplicação de ferramentas tecnológicas para que se possa formar engenheiros preparados para acompanhar um mundo fortemente impactado pelas conquistas tecnológicas e científicas.

Por outro lado, Oliveira *et al.* (2013) verificaram que a formação em engenharia no país experimenta, desde 1990, um grande crescimento de cursos e de Instituições de Ensino Superior (IES) e de modalidades de engenharia. Há, então, um grande desafio na atualidade que é fazer com que o crescimento na área ocorra com qualidade. Para isso, segundo os autores, é necessário que se invista na formação do corpo docente, especialmente em termos didático-pedagógicos, na modernização dos projetos pedagógicos e na modernização da infraestrutura desses cursos.

Em relação à modernização dos projetos pedagógicos, Newstetter e Svinicki (2014) ressaltam a importância que um desenho instrucional de um curso na área de engenharia seja cuidadoso e bem elaborado, baseado em teorias de aprendizagem. Os autores comparam essa importância com a aplicação de leis e métodos de princípios físicos em atividades de engenharia. Por exemplo, se um aluno construir uma ponte sem os princípios e as leis da mecânica é pouco provável que o objetivo se concretize.

Se, por um lado, a engenharia na modalidade presencial clássica já traz desafios para

que se possa adequar os currículos e as metodologias de ensino e aprendizagem, por outro lado, a oferta de cursos de engenharia na modalidade a distância apresenta um desafio ainda maior. Nessa modalidade de ensino, geralmente tem-se estudantes e professores desenvolvendo atividades educacionais em lugares e em tempos diversos. Assim, a mediação didático-pedagógica que acontece entre os pares, necessita de meios e tecnologias de informação para auxiliar no processo de ensino e aprendizagem. Portanto, há exigências peculiares da educação a distância que as instituições que ofertam cursos nessa modalidade têm que atender, como uma infraestrutura física, tecnológica e de recursos humanos adequados e suficientes de acordo com os requisitos fixados na legislação e nos referenciais de qualidade próprio (BRASIL, 2007)

## **2.2 Análise do Cenário dos Cursos de Engenharia na Modalidade a Distância**

A Educação a Distância (EaD) no Brasil, também nasceu fora dos muros da educação formal e convencional, utilizando desde os Correios até as novas tecnologias de informação e comunicação (TICs), para, por exemplo, enviar material didático. A EaD nasceu com o objetivo de atender estudantes situados distantes geograficamente e socialmente dos grandes centros, sem um perfil muito claro do estudante, utilizando tecnologias tidas como pouco atendíveis inicialmente. O nicho por ela encontrado foram os chamados cursos livres, na legislação brasileira (GOMES, 2009).

Alves (2009) relata que o Brasil se destacou no desenvolvimento da EaD até os anos de 1970 e que há registros históricos que comprovam esse fato. No entanto, a partir dessa época, outras nações avançaram, e o Brasil estagnou. Somente a partir do final do século XX, novas ações governamentais, avanços tecnológicos e normalização da EaD, através de leis e decretos, fizeram com que esta retomasse o crescimento, gerando uma nova fase de prosperidade e desenvolvimento dessa modalidade de ensino.

Dois registros históricos importantes da primeira fase da EaD no Brasil foram a fundação do Instituto Monitor, em 1939, (MONITOR, 2017) e a fundação do Instituto Universal Brasileiro (IUB, 2017), em 1941.

O Instituto Monitor nasceu devido à iniciativa do imigrante húngaro Nicolás Goldberg, que trouxe seu conhecimento técnico em eletrônica e resolveu instalar um pequeno negócio no Brasil. Inicialmente o Instituto Monitor ofertou cursos por correspondência para capacitação na área de eletrônica para manutenção de equipamentos de receptores de rádio. Após uma década, foi a vez de cursos de manutenção para receptores de televisão. Há registros que, desde

sua fundação, já passaram por esse instituto cerca de 5 milhões de estudantes (DALLABONA, 2014).

O Instituto Universal Brasileiro foi criado em 1941 e, assim como no Instituto Monitor, um dos primeiros cursos a serem ofertados foi o de eletrônica para rádio. O objetivo do curso era preparar profissionais para instalação, reparo e montagem de receptores de rádio. O IUB continua atuando até hoje com mais de 60 cursos técnicos (IUB, 2017).

De acordo com Dallabona (2014), por volta do final do século XX, em 1989, a EaD se inseriu no ambiente universitário brasileiro através da criação do Centro de Educação Aberta e Continuada da Universidade de Brasília (UnB). A partir dos anos 90, a Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT) e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) passaram a discutir, preparar e ofertar cursos na modalidade a distância. Ainda segundo esse autor, a partir de 1996, após a promulgação da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) (BRASIL, 1996), a modalidade voltou a ter grande expansão, pois essa lei autorizava expressamente a oferta ampla de cursos a distância.

Apesar da promulgação da Lei de Diretrizes e Bases, em 1996, ainda não se tinha uma definição clara do que era a EaD, previam-se, inicialmente, na lei, requisitos para o funcionamento dessa modalidade, tais como: credenciamento institucional; normas para produção, controle e avaliação de programas; tratamento diferenciado, incluindo custos reduzidos no rádio e na televisão, concessão de canais com finalidades exclusivamente educativas, dentre outros requisitos. De acordo com Gomes (2009), o grande problema dessa legislação e das normas é que não se dava ênfase ao substantivo "educação", e sim, à qualificação da modalidade de ensino: presencial ou a distância.

O Decreto nº 5.622, de 19 de dezembro de 2005, regulamenta o art. 80 da Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, que estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. O artigo primeiro desse decreto, caracteriza a educação a distância como modalidade educacional na qual a mediação didático-pedagógica nos processos de ensino e aprendizagem ocorre com a utilização de meios e tecnologias de informação e comunicação, com estudantes e professores desenvolvendo atividades educativas em lugares ou tempos diversos. Segundo Gomes (2009), esse Decreto pôde ser encarado como avanço tanto no que diz respeito ao reconhecimento do caráter de modalidade educacional, em coerência à LDB, como às referências às TICs.

Outro decreto importante no crescimento da EaD no país foi o de nº 5.800, de 8 de julho de 2006, que dispõe sobre o Sistema Universidade Aberta do Brasil (UAB). Esse

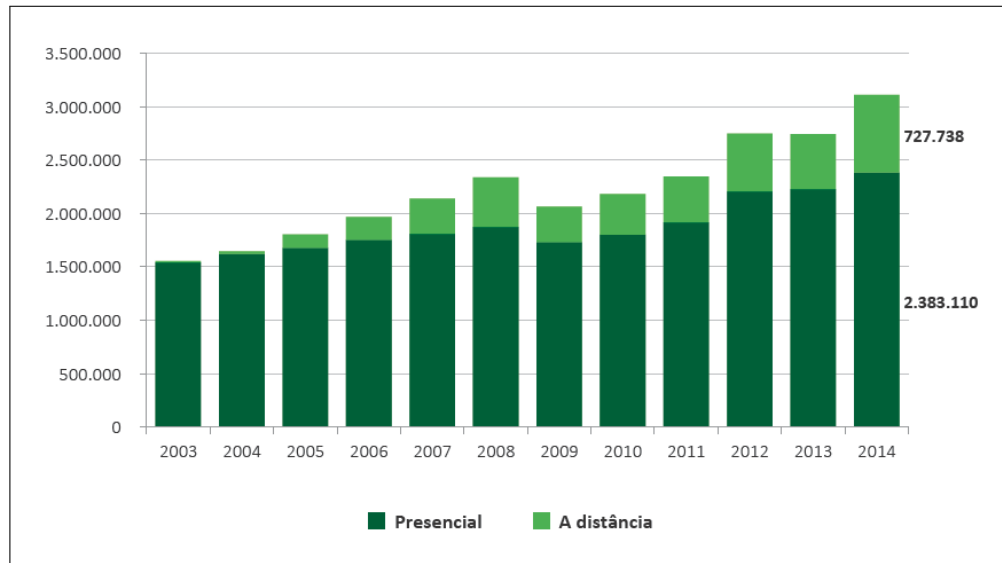
sistema tem como objetivo o desenvolvimento da modalidade de educação a distância, com a finalidade de expandir e interiorizar a oferta de cursos e programas de educação superior no país (BRASIL, 2006). Assim, o Sistema UAB passa a fomentar a modalidade de educação a distância nas instituições públicas de ensino superior, bem como a apoiar pesquisas e desenvolvimento de metodologias inovadoras de ensino superior com o uso de tecnologias de informação e comunicação. Ademais, incentiva a colaboração entre a União e os entes federativos e estimula a criação de centros de formação permanentes por meio dos pólos de apoio presencial em localidades estratégicas (CAPES, 2017).

Em função disso, através do Sistema UAB, o MEC em parceria com Instituições Públicas de Ensino Superior (IPES) e prefeituras e/ou estado firmam convênios e ofertam cursos superiores na modalidade a distância. O Governo Federal, através do Ministério da Educação (MEC), financia as IPES para produção de recursos educacionais (material didático, otimização de plataforma educacional, desenvolvimento de simuladores, dentre outros recursos), produção e oferta de cursos de capacitação, pagamento de bolsas para professores formadores, professores conteudistas, tutores e equipe multidisciplinar. Dessa forma, o MEC passou a custear todas as ações necessárias para execução e funcionamento didático dos cursos ofertados pelas IPES. Já os governos municipais e/ou estaduais, por sua vez, ficaram responsáveis pela infraestrutura nos polos de apoio presencial, geralmente localizados em municípios estratégicos e distantes de grandes centros de formação.

Na Figura 1 é ilustrado o crescimento da EaD no país a partir de 2003. O gráfico mostra que a EaD tem um significado expressivo de estudantes ingressantes nos cursos de graduação a partir de 2005, corroborando com a promulgação do decreto 5.622 que regulamenta a EaD como uma modalidade de ensino. Em 2006, ano em que foi instituído o sistema UAB, a modalidade continuou a crescer. Em 2012 e 2013, as modalidades a distância e presencial estabilizaram, porém, em 2014, houve um crescimento nessas duas modalidades de ensino. Em 2014, havia cerca de 727.738 ingressantes em cursos de graduação na modalidade a distância, representando 25,68% do total de ingressantes no ensino superior. Nos cursos presenciais, esse número é de aproximadamente 2.833.110 estudantes, representando 74,32% do total de ingressantes.

Em relação aos cursos de engenharia, segundo dados extraídos do Sistema e-MEC (MEC, 2017), acessados em 26 de fevereiro de 2017, atualmente há, no Brasil, 4.849 cursos de engenharia na modalidade presencial e a distância, sendo que 108 cursos são ofertados na

Figura 1 – Números de ingressantes em curso de graduação, por modalidade de ensino no Brasil de 2003 a 2014



Fonte – Resumo Técnico - Censo da Educação Superior 2014

modalidade a distância, representando, assim, 2,2% do total de cursos de engenharia ofertados no país. Para esses dados foram considerados na pesquisa apenas cursos em atividade. Além disso, os 108 cursos de engenharia na modalidade a distância possuem cerca de 268.150 vagas autorizadas pelo MEC. Esses cursos são ofertados por instituições de ensino superior públicas e privadas e distribuídos entre as engenharias: agrônoma, ambiental, civil, de alimentos, computação, comunicação, controle e automação, petróleo, produção, elétrica, mecânica, biomédicas, química, *software* e o curso de tecnologia em engenharias.

Além desses cursos, há ainda diversos cursos de pós-graduação *lato sensu*, tecnológicos, técnicos e *MOOCs* na área de engenharia, ofertados nessa modalidade por diversas instituições de ensino privadas e públicas. Percebe-se, então, que os cursos de engenharia nessa modalidade já são uma realidade crescente no país.

Entretanto, para acompanhar o crescimento dos cursos e a oferta de qualidade, as instituições têm que estar atentas às variáveis exigidas para essa modalidade. Um caminho a seguir é observar os itens básicos apontados nos referenciais de qualidade para cursos a distância (BRASIL, 2007). Assim, ao preparar seus cursos, as instituições devem observar: desenho do projeto, recursos educacionais, infraestrutura de apoio, avaliação, dentre outros itens básicos.



### 2.3 Aspectos do Ensino de Engenharia: Metodologia e Recursos Educacionais

Newstetter e Svinicki (2014) enfatizam a importância das teorias de aprendizagem para a prática de educação em engenharia e ressaltam que o método de engenharia pode ser caracterizado como uma estratégia para causar a melhor mudança possível, em relação ao aprendizado do aluno, mesmo em uma situação em que há poucos recursos educacionais disponíveis. Assim, as estratégias de ensino-aprendizagem devem estar inseridas nos desenhos instrucionais dos cursos, e estes devem estar baseados em teorias de aprendizagem para se ter um resultado eficaz. Os autores também ressaltam que na engenharia, a maioria dos professores são *experts* nas áreas em que atuam e, por outro lado, têm, geralmente, pouca formação pedagógica.

De fato, Pinto e Oliveira (2012) apresentam uma síntese dos estudos e pesquisas sobre a formação docente para atuação nos cursos de engenharia no país, baseados nos trabalhos que são desenvolvidos no Observatório de Educação em Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) e em consonância com a legislação da área. Os autores, na sua pesquisa, relatam que geralmente o perfil dos docentes de engenharia, até recentemente, eram peritos na área em que atuavam no mercado de trabalho e, além dessa função, exerciam a docência. Muitas vezes, os peritos aceitavam lecionar por “hobby”, em outros casos, eram convidados a ser docentes e aceitavam “por puro diletantismo ou devido ao prestígio que a função lhes conferia” (PINTO; OLIVEIRA, 2012, s/p). Por essa razão, ter experiência em docência e titulação acadêmica não eram os requisitos principais para o ingresso na carreira docente no ensino superior. Em geral, para passar a ser docente, “bastava ter sido bom aluno de graduação na concepção dos professores do quadro “efetivo” do curso e ter interesse pelo exercício do magistério” (PINTO; OLIVEIRA, op. cit., s/p). Assim, como não havia formação pedagógica, restava àqueles peritos em técnica que foram alçados à categoria de professores reproduzir métodos e comportamentos daqueles professores que eles identificaram como “bons” docentes na sua formação.

Ainda segundo a pesquisa de Pinto e Oliveira (2012), ao longo do tempo, muitos peritos saíram das empresas e foram para Instituições de Educação Superior (IES), principalmente a partir da valorização da dedicação exclusiva e do incentivo ao desenvolvimento de pesquisas, especialmente no caso das IES públicas. Atualmente, os docentes que predominam nos cursos são os que ingressaram na carreira a partir de cursos de mestrado ou doutorado. No entanto, nota-se ainda a predominância do saber técnico no perfil dos docentes e a natureza do aprendizado, ou como ensinar, ainda desprezada.

Além disso, Pinto e Oliveira (2012) concluem, na sua pesquisa, que devido à diversidade de atividades inerentes à profissão da docência, não é suficiente ter somente a formação de pesquisador, ou ser um perito na área de engenharia. Ressaltam ainda que, para haver avanços na formação docente em engenharia, verifica-se que o reconhecimento efetivo da Educação em Engenharia como uma área do conhecimento é um requisito importante. Essa área de conhecimento tem o desafio de pensar “um novo modelo organizacional e acadêmico, através de uma abordagem sistêmica englobando a gestão dos sistemas educacionais em todos os seus aspectos, a formação de pessoas, a organização didático-pedagógica, especialmente os projetos políticos pedagógicos dos cursos, as metodologias e os meios de ensino/aprendizagem” (PINTO; OLIVEIRA, 2012, s/p).

Além do reconhecimento da área de educação em engenharia, os cursos de engenharia ofertados na modalidade a distância requerem uma atenção especial devido à natureza e à complexidade do assunto. Além da infraestrutura necessária nos polos de apoio para desenvolver a parte prática da formação, geralmente têm-se, nos quadros das IES, professores conteudistas, formadores e tutores, cada um com funções específicas dentro do processo de formação; professores peritos das áreas específicas (podem ser professores conteudistas ou formadores) agem geralmente em conjunto com uma equipe multidisciplinar, composta por *designer* educacional, pedagogos, programadores, analistas, diagramadores, animadores, dentre outros profissionais para desenvolvimento de recursos educacionais, tais como: material didático dialogado e interativo, otimização de plataformas educacionais e desenvolvimento de simuladores, simulações e objetos educacionais que auxiliem professores e estudantes no processo de ensino-aprendizagem.

Duas das questões que a educação em engenharia tenta responder são qual é a natureza do saber e qual é a natureza do aprendizado. Essas questões estão ligadas porque os conceitos do saber têm implicações significativas nos conceitos do aprender e também no desenho instrucional dos ambientes do aprendizado. Enquanto os conceitos do conhecimento mudam, da mesma forma, deveriam mudar também as intervenções que acontecem em um ambiente educacional. Ao longo dos séculos, diferentes conceitos do saber e do aprender têm tomado diferentes rumos, geralmente com uma teoria divergindo, complementando ou superando a outra. Dessa maneira, formas de ensinar e aprender, por exemplo, podem mudar completamente.

Muitos pesquisadores da área de ensino de engenharia, segundo Newstetter e Svinicki (2014) têm admitido o valor ecumênico em utilizar várias teorias, ou marcos conceituais na questão de desenhar, testar e redesenhar os ambientes de aprendizagem adequados ao ensino.

Um dos objetivos da educação em engenharia é apresentar aos professores os fundamentos de teorias de aprendizagem e ter ferramentas para desenvolver novos desenhos para prover melhor aprendizado pelos estudantes. Outro objetivo da educação em engenharia é assistir aos professores da engenharia a serem mais reflexivos em relação a sua própria teoria implícita do aprender. Como objetivo mais desafiador, há ainda fornecer meios aos professores de engenharia e pesquisadores da área para pensar sobre como identificar e desenhar estudos de pesquisa sobre educação em engenharia.

Quando se considera a importância do ensino de engenharia como área, o exercício da docência deixa, então, de ser uma atividade meramente "acessória e eminentemente conteudista, e passa a ser considerado como um processo dotado de métodos e técnicas próprias, que sejam estruturadas e consistentes"(PINTO; OLIVEIRA, 2012, s/p). Para que isso aconteça, é preciso minimamente conhecer teorias de aprendizagem. Considerando a importância de teorias de aprendizagem para o ensino, trataremos brevemente de algumas teorias que subsidiam o ensino de engenharia.

## **2.4 Teoria de Aprendizagem no Ensino de Engenharia**

Nesta seção, resumimos as teorias de aprendizagem e seus desdobramentos. No entanto, não temos a pretensão de esgotar o tema, uma vez que o assunto é pesquisado por inúmeros cientistas há mais de um século. Apresentaremos aqui um panorama geral de três marcos teóricos predominantes na educação em engenharia, com exemplos contextualizados, considerando-se o ambiente educacional. Nesta seção é possível refletir sobre o ato de ensinar, aprender e avaliar que está subjacente ao que é proposto nesta tese a respeito do ensino de engenharia.

### **A. Marco Behaviorista**

O primeiro marco presente e predominante nos cursos de engenharia até os dias de hoje é o marco comportamentalista ou behaviorista, o qual define a aprendizagem como estudo científico do comportamento observável. A teoria comportamentalista foi proposta inicialmente em 1913 por Watson (1913) e desenvolvida por diversos pesquisadores, tais como Guthrie (1935), Skinner (1938, 1950) e Bloom *et al.* (1956).

Segundo Watson (1913), qualquer comportamento humano ou animal poderia ser

descrito pelo encadeamento de associações simples entre estímulos e respostas, sendo que o meio é um fator determinante do comportamento (GONÇALVES, 2007). Assim, para um behaviorista todas as mudanças observáveis e mensuráveis do comportamento são decorrentes de estímulos e respostas. Desse modo, todo comportamento é aprendido.

Nessa teoria, os pesquisadores não consideram processos mentais internos no processo da aprendizagem. Em termos de engenharia, o processo de aprendizagem nessa perspectiva seria como observar entradas e saídas de um sistema, sendo que o sistema seria representado como uma caixa preta. Para deixar mais claro, podemos imaginar, o sistema ou caixa preta, como um circuito combinacional. Este por sua vez, é um circuito que implementa uma expressão booleana através da ligação de portas lógicas onde as saídas do sistema dependem única e exclusivamente das entradas. Assim, uma entrada é o estímulo, e uma saída é uma resposta a esse estímulo.

Dessa forma, no marco comportamentalista, “saber” consiste em uma longa corrente de estímulos-respostas que estejam associados a eventos do passado e suas consequências, muitas vezes formando uma conexão. Se as consequências são positivas, essas correntes têm uma alta probabilidade de acontecer caso o estímulo inicial seja encontrado novamente. Então, “aprender” é a criação das conexões, estímulo-resposta através da exposição, repetição e consequências (NEWTETTER; SVINICKI, 2014). Assim, podemos definir aprender como uma mudança na probabilidade da resposta, ou seja, uma mudança no comportamento dependendo do tipo de respostas emitidas pelo estudante exposto a um determinado estímulo, não esquecendo de observar também as condições nas quais esses estímulos acontecem.

Segundo Filatro (2009), após a Segunda Guerra Mundial, a pesquisa sobre aprendizagem, cognição e instrução ganhou mais relevância e investimento. Ainda, segundo a autora alguns pesquisadores passaram a investigar meios mais eficazes de planejar o ensino, a exemplo desse fato têm-se, em meados de 1950, o desenvolvimento da Taxonomia de Bloom ( BLOOM et al, 1956) e, entre os anos de 1950 e 1960, o movimento da instrução programada, que teve como principal responsável Burrhus Frederic Skinner.

A Taxonomia de Bloom é compreendida como um instrumento formulado para apoiar o planejamento didático-pedagógico, cuja finalidade era auxiliar a estruturação, a organização e a definição de objetivos educacionais, bem como escolher os instrumentos de avaliação visando facilitar o planejamento do processo ensino e aprendizagem (FERRAZ; BELHOT, 2010). Para tanto, Bloom criou uma linguagem comum e padronizada para identificar e classificar as

atividades educacionais.

Skinner (1938), assim como Watson (1913), entende que o comportamento deve ser o alvo de estudo da psicologia, e não a experiência consciente, a mente ou quaisquer outros fatores internos. Entretanto, para Skinner, a aprendizagem não só correspondia a um conjunto de associações entre estímulos e respostas, mas igualmente entre respostas e estímulos. Skinner também identificou a relevância das associações que se formam entre as respostas e os seus efeitos. Contudo, a grande contribuição desse autor na era behaviorista foi o processo de aprendizagem por condicionamento operante, no qual o pesquisador, por exemplo, conseguiu treinar laboratorialmente um pombo a jogar tênis através de comandos ou instruções programadas (GONÇALVES, 2007).

Fazem parte também do marco comportamentalista a definição de objetivos específicos a serem alcançados, a divisão da instrução em pequenos passos, o estabelecimento de padrões de comportamentos almejados, o respeito individual de aprendizagem do estudante para conseguir atingir esses padrões e o *feedback* imediato (FILATRO, 2009). Filatro (2009), por exemplo, ressalta que os *softwares* educacionais da década de 1980 utilizavam essas características e ofereciam uma alternativa tecnológica à educação tradicional.

Um exemplo do comportamentalismo em sala de aula é descrito por Newstetter e Svinicki (2014), que relatam que um professor usa a abordagem behaviorista em um curso que é assistido por computador e tem como objetivo o domínio das conversões de unidades. Esse curso é dividido em módulos, e os processos de aprendizagem do curso evoluem passo a passo. Antes de iniciar o curso, os estudantes são submetidos a um *quiz* sobre o assunto de conversão de unidades. Com o resultado do *quiz*, o estudante é direcionado dentro do curso para um nível mais avançado no sistema de conversão, ou a um nível básico, no qual apresentou déficit. Ao final de cada módulo do curso, tem-se uma avaliação para passar ao módulo subsequente. Se o estudante consegue atingir os objetivos do módulo, ele passa para o subsequente. O professor responsável pela disciplina também manda notificações para os alunos que conseguiram progredir. Em caso contrário, o estudante é convidado a voltar ao módulo no qual ele apresentou dificuldades até que atinja um resultado favorável para passar para o módulo seguinte. Se, em três tentativas, o estudante não atingir o padrão desejado, um instrutor assiste o aluno para sanar suas dificuldades para que este consiga prosseguir dentro do curso.

O marco comportamentalista foi predominante nos anos 1960, até início dos anos 1970, mas diminuiu seu alcance quando o cognitivismo aumentou sua popularidade. No entanto,

ainda é proeminente como um sistema de gerência de comportamento em instituições de ensino, como os professores que controlam o comportamento através de pontos ou de elogios, de acordo com respostas esperadas aos estímulos dados aos estudantes.

## **B. Marco Cognitivista**

Há diferentes abordagens teóricas cognitivistas, porém esses estudos têm como objetivo em comum explicar diferentes partes do aprendizado. Assim, essas teorias enfocam os aspectos principais dos conceitos a serem aprendidos e, diferente da teoria comportamentalista, se preocupam em examinar aspectos internos da caixa preta de um sistema genérico qualquer.

Gonçalves (2007) destaca que na perspectiva cognitivista, a psicologia abre a caixa preta e passa a assumir explicitamente a existência de variáveis cognitivas intermediárias entre o estímulo e a resposta. Filatro (2009), por exemplo, afirma que o marco cognitivista atenta, em suas pesquisas, para os aspectos dos processos internos de percepção, representação, armazenamento e recuperação de conhecimento. Nessa teoria, a mente tornou-se o foco de investigação do saber e do aprender.

No cognitivismo, a partir da metade do século XX, enfatizaram-se os esquemas mentais (FILATRO, 2009). Nessa perspectiva, um possível modelo para compreender o funcionamento da mente humana é compará-la com a estrutura básica do funcionamento do computador. Nesse modelo há unidades cognitivas com foco interno, relacionamentos e mecanismos. A mente, assim como o computador, pode inicialmente receber registros sensoriais e/ou registros cognitivos que são armazenados em uma memória de trabalho, também chamada memória de curto prazo. Esses registros são codificados e enviados para uma memória de longo prazo, onde são armazenados em forma de esquemas. Esses, por sua vez, são muitas vezes, acessados, recuperados e reestruturados no processo de aprendizagem.

Contudo, toda pesquisa cognitiva a partir da metade do século XX, buscou investigar avanços no entendimento dos mecanismos internos da representação do mundo exterior e avanços nos processos de retenção das informações da memória de longo prazo (FILATRO, 2009). Algumas teorias cognitivistas se destacaram ao longo do tempo, tais como a Teoria do Processamento da Informação, Teoria da Aprendizagem Social, Teoria Construtivista e a Teoria da Aprendizagem Significativa.

De acordo com Newstetter e Svinicki (2014), na Teoria do Processamento da Infor-

mação, o estudante processa a informação e cria uma representação exata do que é apresentado na instrução. O processo de aprendizagem é muitas vezes comparado ao funcionamento de um computador. Ainda segundo esses autores, o professor tem o controle sobre a organização da aprendizagem e a estrutura final do conteúdo armazenado na memória de longo prazo. Contudo, aqui é ignorado que o estudante precisa estar ativamente engajado na transformação profunda, e não apenas escutar ou observar o professor.

A teoria da aprendizagem social se situa no segundo momento da teoria cognitiva, é também conhecida como aprendizagem por observação. Newstetter e Svinicki (2014) relatam que essa teoria surgiu para explicar o fato de que a aprendizagem advinha do ato de observar o comportamento dos outros, em vez de moldar esse comportamento, como acreditava a teoria comportamentalista. Ainda segundo esses autores, Albert Bandura, um teórico canadense, propôs que a base para a aprendizagem era realizada a partir do comportamento observado e da criação do “modelo mental” dessa ação. O teórico canadense enfatizou também a importância da interação entre o estudante e outras pessoas. Assim nomeou sua teoria de "cognitiva" Social, pois, segundo a teoria, a aprendizagem depende da interação com os outros (social) e envolve um modelo mental (cognitivo).

Segundo Piaget (1973), o construtivismo, por sua vez, obedece aos mecanismos de criação e armazenamento do modelo mental, porém, nessa teoria, o indivíduo está ativamente engajado, ou seja, está no controle da sua aprendizagem. No construtivismo, o modelo mental aprendido é uma “construção” feita pelo estudante. Contudo, cada indivíduo cria um modelo particular e diferente, pois esse modelo é uma combinação de todas as suas experiências passadas e suas interpretações da situação atual (NEWSTETTER; SVINICKI, 2014). Assim, o desenvolvimento humano percorre estágios sucessivos de organização doS campoS cognitivo e afetivo, que serão construídos a partir da interações com pessoas ou com o mundo das coisas (SANTOS *et al.*, 2014).

Corroborando com a teoria construtivista, mas sob o ponto de vista educacional, Santos *et al.* (2014) ressaltam que nessa teoria, existe uma ênfase no estudante, ou seja, em suas ações, seus modos de pensar, de como interpretar e de resolver as situações-problema. Acrescentam ainda que professores e colegas de curso são mediadores importantes para a construção do conhecimento, pois a ênfase na aprendizagem é dada nas interações sociais e nos intercâmbios entre os indivíduos.

A Teoria da Aprendizagem Significativa, por seu turno, foi proposta por David Ausu-

bel, sendo, ao longo do tempo, investigada por pesquisadores em diversas áreas do conhecimento. De acordo com Filatro (2009), a Teoria de Aprendizagem Significativa, de Ausubel, possui um modelo de aquisição e retenção de conhecimento baseados em processos de subsunção, diferenciação progressiva, aprendizagem superordenada e reconciliação integrativa. Para Ausubel, subsunção ou ideia-âncora é um conceito que representa o conhecimento prévio que o aluno possui sobre um dado conteúdo e que está presente em suas estruturas cognitivas (CARVALHO *et al.*, 2010). Já a diferenciação progressiva está relacionada a novos conceitos que ganham mais significados na proporção que novos relacionamentos são absorvidos. A aprendizagem superordenada, segundo Ausubel, favorece a criação de novos “guarda-chuvas” para conceitos existentes. E, finalmente, o processo de reconciliação integrativa está relacionado ao reconhecimento de novas ligações entre conjuntos relacionados de conceitos ou proposições (FILATRO, 2009).

Moreira (2012) reitera que a aprendizagem significativa é descrita pela interação entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos e que essa interação é não literal e não arbitrária. Assim, os novos conhecimentos adquirem significado para o estudante e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva.

Mesmo com diferentes abordagens teóricas cognitivistas, como já citado anteriormente, o marco cognitivista aborda, em suas pesquisas, aspectos do processo interno de percepção, representação, armazenamento e recuperação de conhecimento. Então, para desenhar qualquer instrução utilizando a teoria cognitivista, é importante assegurar que o foco do processo estará no estudante e nos conceitos-chave inicialmente aprendidos por eles. Esses conceitos, por sua vez, podem ser usados para fortalecer ou construir conexões. Assim, conhecimentos antigos podem fornecer suporte para aprender conhecimentos novos, mudando as estruturas cognitivas existentes ou para criar novas estruturas.

Um exemplo do uso de cognitivismo em sala de aula é descrito por Carvalho *et al.* (2015): os autores relatam uma proposta para prática docente, na qual é usada uma abordagem da teoria de aprendizagem significativa, proposta por Ausubel, associada aos mapas conceituais de Joseph Novak em uma disciplina de controle avançado em um curso de engenharia de controle e automação. Os mapas conceituais, por sua vez, são representações gráficas do conhecimento presente nas estruturas cognitivas do indivíduo, sendo esse conhecimento advindo da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. Os resultados da pesquisa, segundo Carvalho *et al.* (2010), são obtidos e apresentados na forma de evolução dinâmica dos mapas conceituais desen-



volvidos pelos alunos no decorrer da disciplina. Esses mapas gerados servem como um extrato da organização cognitiva dos estudantes investigados, pois se baseiam na forma como os conceitos estão estruturados e são representados por eles. Ainda segundo os pesquisadores, em geral, os mapas conceituais desenvolvidos pelos estudantes ilustraram um aumento na hierarquização, nas ramificações e nas relações transversais que também foram construídas, verificando-se, assim, características da aprendizagem significativa, tais como diferenciação progressiva e reconciliação integradora.

### **C. Marco Situacional**

Enquanto os cientistas cognitivistas foram responsáveis por investigar os processos internos procurando entender como as informações são construídas, armazenadas, recuperadas e modificadas, os cientistas sociais da antropologia, sociologia e psicologia social estavam realizando estudos para entender como os indivíduos e grupos interagem, e como coordenar e utilizar recursos do ambiente externo para alcançar objetivos significativos (NEWSTETTER; SVINICKI, 2014). O conhecimento nessa perspectiva está distribuído entre as ações das pessoas e o seu ambiente social, incluindo objetivos, artefatos culturais próprios, ferramentas, livros e suas comunidades. Aprender na perspectiva situada tem como componentes críticos a interação social e a colaboração (FILATRO, 2009; WILSON; MEYER, 2000 ; CLANCEY, 1995).

Outro elemento igualmente importante nesse marco é o foco na formação da identidade, alcançado através da participação do indivíduo em uma comunidade de prática (LAVE; WENGER, 1991). Em contraste aos estudos de laboratório usados por comportamentalistas e cognitivistas, os situacionistas tentam entender a cognição na sua essência, ou seja, querem entender como as pessoas utilizam na vida diária o ambiente material e social para resolver problemas e alcançar objetivos com sucesso (BROWN; COLLINS; DUGUID, 1989; LAVE, 1988; *apud* NEWSTETTER; SVINICKI, 2014) .

Dessa forma, o saber nesse paradigma é atribuído tanto ao indivíduo quanto aos grupos. Dito de outra forma, no marco situacional, a aprendizagem é uma atividade inerentemente social, na qual o diálogo cooperativo possibilita que os participantes de uma comunidade vivenciem similaridades e diferenças entre vários pontos de vista (FILATRO, 2009). Assim, professores, materiais instrucionais e colegas de classe podem ser consultados para solucionar problemas reais e podem então ser vistos como fontes de informação. Na perspectiva situacional

há valorização de estratégias de ensino que permitam o diálogo entre os participantes, respeitando-se cada ponto de vista, e os participantes não são apenas ouvidos. Filatro (2009) conclui que a aprendizagem, então, deve ocorrer em um ambiente social e precisa estar inserida em contextos realistas que interessem aos estudantes.

Uma experiência utilizando a perspectiva situacional pôde ser vivenciada em um laboratório de pesquisa com profissionais e com alunos de graduação e de pós-graduação de cursos nas áreas de engenharia, computação, biologia e medicina inserida nas atividades de um *Workshop* de Ciência sem Fronteiras 2015, chamado de Modelos Matemático-Computacionais com Aplicações em Visualização Científica e Visão Computacional. Participaram desse workshop profissionais da Universidade Federal do Ceará, Instituto Federal do Ceará, Universidade Federal de Ouro Preto e Universidade da Califórnia - Berkeley. A cientista e pesquisadora do Laboratório Nacional Lawrence Berkeley (LBNL) lançou um desafio, que era desenvolver um algoritmo para segmentação de núcleos e citoplasmas em células cervicais, visto que esse é um passo fundamental para identificar automaticamente células anormais ou lesões que identificariam células cancerígenas. Como existiam profissionais, alunos e pós-graduandos com diversos níveis de conhecimento sobre o assunto, alguns nunca tinham tido contato com imagens de células cervicais nem sabiam do que se tratava. Outros, por sua vez, já conheciam as imagens e tinham conhecimento científico nessa área. A cientista convidou, então, uma professora da área de saúde para dar uma palestra sobre células cervicais e ilustrar características sobre essas células, apontando atributos de células normais e de células anormais. Após essa palestra, a pesquisadora do LBNL ministrou um treinamento sobre a ferramenta FIJI<sup>1</sup>, que foi usada para desenvolver o algoritmo pelas equipes formadas para o desafio.

Foram formadas 4 equipes compostas por estudantes e por profissionais, mescladas entre estudantes experientes e estudantes não experientes. A avaliação para se chegar ao resultado das equipes levou em conta vários quesitos, tais como, organização do código e do grupo de trabalho, criatividade, *design*, facilidade no uso (amigável), impacto, otimização (velocidade de processamento), apresentação e simplicidade. As equipes foram classificadas do primeiro ao quarto lugar. Componentes da primeira e da segunda equipe se reuniram e escreveram sobre os resultados encontrados na “competição”, fato que gerou um artigo científico, “A Multi-objective approach for calibration and detection of cervical cells nuclei”, que foi aprovado e será apresentado no IEEE Congress on Evolutionary Computation 2017.

---

<sup>1</sup> <http://imagej.net/Fiji/DownloadsFiji>

A Tabela 2 apresenta uma análise de alguns componentes instrucionais sob diferentes orientações teóricas apresentadas no decorrer deste capítulo.

Tabela 2 – Componentes instrucionais sob diferentes orientações teóricas

<b>Componente Instrucional</b>	<b>Behaviorismo</b>	<b>Cognitivismo</b>	<b>Situacional</b>
<b>Desenho Instrucional</b>	Uso de atividades organizadas; definição clara de objetivos; divisão da instrução em pequenos passos; <i>feedback</i> imediatos; domínio de cada passo; percursos individualizados correspondentes a desempenhos anteriores	Palestras enfatizando a compreensão estrutural do conteúdo (subtipo de processamento da informação); demonstrações de habilidades por modelo (subtipo social cognitivo); investigação orientada, tal como a aprendizagem por meio de experiências (subtipo construtivista)	Aprendizagem em ambientes práticos (por exemplo, aprendizagem em serviço, estágios, trabalho de projeto em ambientes de trabalho reais) ou em contextos de prática simulada; simulações de problemas reais (simulações computacionais)

*Continua na próxima página*

Tabela 2 – Continuação da página anterior

Componente Instrucional	Behaviorismo	Cognitivismo	Situacional
<b>Papéis do professor e estudante</b>	<p><b>Professor -</b> Define claramente os objetivos em termos observáveis; faz análises das atividades; estabelece critérios de domínio; organiza instruções em rotinas para atender aos objetivos; avalia o nível de domínio dos estudantes, fornece reforço e tutoria.</p> <p><b>Estudante -</b> Prossegue com as etapas instrucionais delineadas por passos descritas pelo instrutor; tem que ter domínio em cada etapa</p>	<p><b>Professor-</b> analisa e especifica resultados de aprendizagem; fornece materiais necessários e de instrução; proporciona oportunidade de construção de compreensão; fornece <i>feedback</i> durante a aprendizagem e analisa o nível final alcançado.</p> <p><b>Estudante -</b> É ativo em seu próprio contexto, fazendo conexões, interpretações e seus próprios modelos mentais; testa e revisa com base nos <i>feedbacks</i></p>	<p><b>Professor -</b> membro da comunidade de prática ou um suporte/consultor para essa comunidade; identifica ambiente de aprendizagem; facilitador de processos de aprendizagem; co-aprendiz; modelo de processos de peritos; avaliador do nível final.</p> <p><b>Estudante -</b> Ator cada vez mais qualificado na comunidade de prática, começando com a participação legítima e periférica e avançando para níveis mais elevados através de papéis cada vez mais centrais na comunidade.</p>
<b>Resultados da aprendizagem</b>	Desempenho observável através do comportamento, conforme especificado nos objetivos instrucionais	Demonstração de uso de modelos mentais em novas situações	Capacidade de participar em uma comunidade de prática; compreensão das limitações e das possibilidades de situações

Continua na próxima página

Tabela 2 – Continuação da página anterior

<b>Componente Instrucional</b>	<b>Behaviorismo</b>	<b>Cognitivismo</b>	<b>Situacional</b>
<b>Atividades em aula</b>	Apresentação escalonada de conteúdo ou habilidade de acordo com a análise de tarefas, com práticas, frequentes seguidas de <i>feedbacks</i> positivo ou negativo	Apresentações ou atividades que exigem que os alunos construam e demonstrem compreensão através da resolução de problemas, práticas ativas que envolvem habilidades e <i>feedback</i>	Participação em ambientes de aprendizagem legítimos, nos quais os estudantes resolvem problemas reais, típicos da comunidade de prática
<b>Avaliação</b>	Testes com itens ou tarefas relacionadas aos objetivos instrucionais	Teste com itens ou atividades que exigem um processamento mais profundo, envolvendo aplicações de modelos a situações complexas	Participação nas práticas da comunidade, muitas vezes, baseada em autorreflexões ou experiências de trabalhos anteriores
<b>Propósito de notas a partir do desempenho</b>	Reforço ou punição; domínio da etapa corrente para avançar nas etapas seguintes	<i>Feedback</i> sobre as construções dos modelos dos alunos; documentação do nível alcançado pelos estudantes	<i>Feedback</i> formativo durante a aprendizagem; documentação do nível alcançado ao final do processo, geralmente no formato de uma descrição escrita, como escrita de artigos científicos
<b>Exemplos de uso das abordagens</b>	Instrução guiada; ISD tradicional	Aprendizagem experimental; aprendizagem baseada em problema; aprendizagem baseada em pesquisa	Aprendizagem situada; desenvolvimento profissional continuado; aprendizagem baseada em trabalho

Fonte – Adaptada de Newstetter e Svinicki (2014).

Se pensarmos em um curso na área de engenharia, diversas questões vêm em mente quando observamos o quadro-síntese (Tabela 2) que acabamos de apresentar. Uma delas é a de que a comunidade de ensino em engenharia deveria pensar: em quais disciplinas do curso em engenharia aplica-se o behaviorismo? Em qual disciplina deve-se aplicar o cognitivismo ou a perspectiva situacional? Por fim justificar as escolhas.

Agora reflitamos. Para um curso funcionar, seja ele de graduação seja técnico, precisa-se de um documento que contenha os processos educacionais necessários para se formar um profissional em determinada área. Esse documento deverá conter justificativa de abertura do curso, perfil do egresso, habilidades e competências esperadas ao final do curso, disciplinas, metodologia ou modelo pedagógico utilizado para se alcançar os objetivos do curso, pautados em alguma(s) teoria(s) de aprendizagem, dentre outros requisitos. Assim, o projeto pedagógico de um curso deverá estar pautado em uma ou em diversas perspectivas elencadas na Tabela 2, constituindo assim uma aplicação ecumênica das teorias.

Na verdade, imaginado uma matriz de *design* instrucional para uma disciplina, se pensarmos que os estudantes aprendem realizando tarefas (interagindo) apoiadas por conteúdos e ferramentas, com a finalidade de atingir determinado objetivo, uma maneira de explicitar o método ou o modelo pedagógico, para qualquer que sejam a(s) perspectiva(s) adotada(s) de aprendizagem, seria organizar os elementos do processo em uma matriz de atividades (FILATRO, 2009). Essa matriz deveria conter os seguintes campos: unidade de estudos, objetivos, quem executa a atividade, duração, ferramentas, conteúdos, produção dos estudantes e avaliação. No que diz respeito à educação a distância, é possível promover o ecumenismo das teorias mediado por tecnologia.

O capítulo que ora finalizamos contextualiza as origens e fundamentos das teorias de aprendizagem com intuito de embasarmos no âmbito das teorias de aprendizagem nossa investigação.

### 3 TÉCNICAS ESTATÍSTICAS MULTIVARIADAS APLICADAS

#### 3.1 Análise de Componentes Principais

Nas diversas áreas de conhecimento e nos vários campos de estudo, as investigações científicas buscam estabelecer relações, encontrar ou propor leis explicativas, decifrar e entender a natureza que nos cerca. Para isso, é necessário controlar, mensurar e manipular as variáveis que são destacadas como relevantes para o entendimento do fenômeno analisado. Diversas são as dificuldades em traduzir as informações obtidas em conhecimento, principalmente quando se trabalha com avaliações estatísticas dessas informações. Os métodos estatísticos aplicados na análise de dados podem estar dispostos em dois grandes grupos: um que analisa uma medida de interesse da amostra, que trabalha com as variáveis de maneira isolada - a estatística univariada - e outro que analisa as variáveis de forma conjunta - a estatística multivariada.

Segundo Andriotti (1997), a área da estatística multivariada é aquela que trabalha com conjuntos de dados oriundos de diversas medidas obtidas sobre uma mesma amostra, e leva em conta, na busca de resultados, não somente as características individuais de cada uma das medidas obtidas sobre uma dada amostra, mas, também, as relações porventura existentes entre as diversas variáveis utilizadas na investigação. Nesse caso, as técnicas multivariadas pressupõem a existência de inúmeras observações para diversas variáveis de interesse.

Se considerarmos que o fenômeno sob investigação é consequência das interações entre as diversas variáveis que o compõem e que, por esse motivo, foram todas mensuradas, a aplicação da abordagem multivariada e suas técnicas se faz imperativa.

Existem vários métodos de análise multivariada, com finalidades bem diferentes entre si. Portanto, é necessário saber que conhecimento se pretende gerar e que tipo de hipótese se quer levantar a respeito dos dados. Segundo Johnson e Wichern (2007), dentre os vários enfoques que podem ser utilizados em um estudo multivariado, os mais importantes seriam, resumidamente, os seguintes.

- (i) Simplificação da estrutura dos dados, ou seja, a busca da representação mais simples possível do fenômeno analisado sem a perda significativa de informação. Essa simplificação pode ser obtida através da transformação, linear ou não, de um conjunto de variáveis interdependentes em um novo conjunto de dados independentes e de menor dimensão.
- (ii) Classificação, ou seja, a disposição de diversas observações, ou variáveis, em agrupamentos por similaridade.

- (iii) Análise de interdependência, que considera desde a independência total entre as diversas variáveis até a colinearidade, que ocorre quando uma delas é combinação linear das demais ou quando uma delas seja uma função quantificável das outras.
- (iv) Análise de dependência, pela qual se selecionam uma ou mais variáveis do conjunto de dados original e se avalia a dependência desse subconjunto em relação às demais variáveis.
- (v) Formulação de hipóteses, identificando modelos que permitam levantar hipóteses em função de parâmetros estimáveis.

Dentre as diversas técnicas aplicadas em estudos multivariados, podemos destacar a Análise de Componentes Principais (ACP). A análise de componentes principais foi introduzida por Karl Pearson em 1901, época em que publicou um trabalho sobre o ajuste de um sistema de pontos em um espaço multivariado a uma linha ou a um plano. Esse trabalho foi retomado e consolidado por Hottelling em 1933, que apresentou a definição da técnica tal como é conhecida atualmente. Segundo Andriotti (1997), Hottelling focou seus estudos nas componentes que compreendiam a maior variabilidade do sistema de pontos, ou seja, que respondiam pela maior parte da variabilidade dos dados sob estudo, por isso o termo "principal" vinculado ao próprio nome da técnica.

Segundo Johnson e Wichern (2007), a análise de componentes principais consiste em uma técnica estatística multivariada que tem como principais objetivos a redução dos dados e a interpretação. Ainda de acordo com os citados autores, a ACP frequentemente revela relações que não seriam previamente identificadas com o conjunto de dados original e, portanto, permite interpretações mais abrangentes do fenômeno analisado e que não seriam normalmente obtidas. Dessa forma, a análise de componentes principais serve como etapa intermediária para investigações mais extensas.

A ACP encontra um campo fértil para a sua aplicação quando se tem disponível um conjunto de dados multivariados, isto é, quando há muitas variáveis interagindo conjuntamente no fenômeno ou no processo estudado. Devido a isso, a análise de componentes principais tem uma extensa gama de aplicações para diversas áreas do conhecimento. Dentre essas aplicações, podemos citar alguns exemplos em que a ACP foi utilizada como ferramenta de análise.

No artigo de Lamar *et al.* (2003), os autores apresentam um método de extração de características que utiliza análise de componentes principais para extrair informações morfológicas de uma região 2-D a partir de um sinal de vídeo digital. Esse método foi aplicado para modelar posturas manuais utilizando uma luva colorida, que permite uma rápida localização da



mão nas imagens. Com esse trabalho, os autores esperam gerar um sistema capaz de reconhecer as 26 posturas do alfabeto manual da Linguagem Brasileira dos Sinais (LIBRAS).

Tino (2005) utilizou a ACP para desenvolver um método de regulagem de máquinas de injeção plástica, visando a redução de rejeitos. Os ajustes paramétricos foram propostos para serem feitos durante o processo de regulagem, utilizando a metodologia de Análise por Componentes Principais, com base nos dados amostrados por um sistema de monitoração em tempo real. Os parâmetros de regulagem amostrados durante o período de regulagem de uma determinada máquina injetora, molde e matéria-prima, foram armazenados para que, em seguida, com a ACP, fosse possível a definição de grupos de parâmetros com maior representatividade.

Com mais destaque, podemos citar o trabalho de Silva *et al.* (2012). Nesse artigo, os autores aplicaram a análise de componentes principais como ferramenta de análise de dados da avaliação de aprendizagem discente em cursos de graduação semipresencial. O objetivo da aplicação da ACP, segundo os próprios autores, foi subsidiar o professor responsável pela elaboração de cursos *online*, tendo em vista que esse tipo de análise traz um *feedback* estatístico que está implícito no conjunto de dados.

Esse experimento foi aplicado em dados coletados na forma de notas obtidas pelos alunos em atividades de fóruns, *chats* e portfólios em um Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA). Os resultados dessa aplicação permitiram a identificação de atividades e de conteúdos que apresentaram elevados graus de correlação, assim como a avaliação dos graus de significância das notas obtidas em determinadas atividades.

Assim como nos estudos citados anteriormente, a análise de componentes principais também foi utilizada nesta tese como ferramenta para a avaliação da eficácia da aprendizagem em cursos *e-learning* na área de engenharia. Essa técnica será descrita em maiores detalhes ao longo deste capítulo.

A análise de componentes principais, então, é uma técnica estatística multivariada que consiste em reduzir a dimensionalidade dos dados com a menor perda possível da informação contida no conjunto de observações. Segundo Mingoti (2007), essa técnica tem como principal objetivo explicar a estrutura de variância e covariância de um vetor aleatório, composto de  $p$  variáveis aleatórias, através da construção de combinações lineares das variáveis originais, denominadas componentes principais. Mingoti também afirma que, se temos  $p$  variáveis originais, é possível obter-se  $p$  componentes principais.

Segundo Johnson e Wichern (2007), embora  $p$  componentes sejam necessários para se reproduzir a variabilidade total de um sistema de interesse, geralmente, a maior parte dessa variabilidade pode ser representada por um pequeno número  $k$  de componentes principais. Isso quer dizer que existe quase tanta informação em  $k$  componentes principais que nas  $p$  variáveis originais. A ideia geral da ACP é, portanto, que  $k$  componentes principais possam substituir, sem perda considerável de informação, as  $p$  variáveis originais. O conjunto original de dados, consistindo de  $n$  medições das  $p$  variáveis, é reduzido para um conjunto posterior formado por  $n$  medições de  $k$  componentes principais.

De acordo com Ferreira (2008), a ideia básica da análise de componentes principais é buscar variáveis latentes que representem combinações lineares de um grupo de variáveis sob estudo que são, por sua vez, relacionadas. Dessa forma, a ACP consiste em transformar um conjunto de variáveis originais em um novo conjunto de variáveis. Para isso, a ACP agrupa as variáveis de acordo com sua variação, ou seja, de acordo com a variância de cada variável dentro de um determinado conjunto de dados. Ferreira (2008) também ressalta duas propriedades importantes que os componentes principais apresentam: são independentes entre si (não correlacionados) e são estimados com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo de informação, em termos da variância total contida nos dados.

Segundo Mingoti (2007), a suposição de normalidade não é requisito necessário para que a técnica de análise de componentes principais possa ser utilizada. No entanto, Johnson e Wichern (2007) mostram que componentes principais obtidos a partir de populações que apresentam distribuição normal multivariada permitem a realização de inferências estatísticas e, conseqüentemente, a extrapolação das conclusões obtidas na amostra para a população.

Mingoti (2007) destaca que a obtenção dos componentes principais envolve a decomposição da matriz de covariância do vetor aleatório de interesse. Caso seja aplicada alguma transformação nesse vetor aleatório, os componentes deverão ser calculados utilizando-se a matriz de covariância relativo ao vetor transformado. Dentre as várias transformações que podem ser utilizadas, uma bastante usual é a padronização das variáveis do vetor pelas suas respectivas médias e pelos desvios padrões, obtendo, assim, novas variáveis centradas em zero e com variâncias iguais a 1. Nesse cenário, os componentes principais são determinados a partir da matriz de covariâncias dessas variáveis padronizadas, o que essencialmente equivale a extrair os componentes principais utilizando-se a matriz de correlação das variáveis originais.

Ainda segundo Mingoti (2007), para definirmos os componentes principais de uma forma geral, vamos considerar inicialmente um conjunto de  $p$  variáveis aleatórias,  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_p$ , com médias  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p$  e variâncias  $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_p^2$ , respectivamente. Essas variáveis aleatórias são correlacionadas e, portanto, existe covariância não nula entre a  $i$ -ésima e  $k$ -ésima variável, representada por  $\sigma_{ik}$ , para  $i \neq k = 1, 2, \dots, p$ . Podemos representar estas  $p$  variáveis na forma matricial através de

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix},$$

em que cada elemento  $x_{jk}$  representa a observação  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) em termos da variável  $k$  ( $k = 1, 2, \dots, p$ ), ou através do vetor  $\mathbf{X} = (\mathbf{X}_1 \ \mathbf{X}_2 \ \dots \ \mathbf{X}_p)'$ . Da mesma forma, podemos obter a representação do vetor de médias e da matriz de covariâncias por

$$\boldsymbol{\mu} = \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \vdots \\ \mu_p \end{bmatrix} \text{ e } \boldsymbol{\Sigma}_{p \times p} = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \cdots & \sigma_{1p} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \cdots & \sigma_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{p1} & \sigma_{p2} & \cdots & \sigma_{pp} \end{bmatrix},$$

respectivamente. Nesse caso, não assumiremos nenhuma distribuição para o vetor  $\mathbf{X}$  de dados.

Um componente principal, essencialmente, é uma combinação linear das  $p$  variáveis que compõe o vetor  $\mathbf{X}$ . Portanto, podemos definir o  $i$ -ésimo componente principal  $Y_i$  como sendo

$$Y_i = \mathbf{e}_i' \mathbf{X} = e_{i1}X_1 + e_{i2}X_2 + \dots + e_{ip}X_p, \quad (3.1)$$

em que o vetor desconhecido  $\mathbf{e}_i$  estabelece a  $i$ -ésima combinação linear, para  $i = 1, 2, \dots, p$ . Nesse sentido, a definição dos componentes principais depende, basicamente, da escolha dos valores para o vetor  $\mathbf{e}_i$ .

Partindo da equação 3.1, temos que a média e a variância de  $Y_i$  são dadas por

$$E(Y_i) = E(\mathbf{e}_i' \mathbf{X}) = \mathbf{e}_i' E(\mathbf{X}) = \mathbf{e}_i' \boldsymbol{\mu}, \quad (3.2)$$

e

$$\text{Var}(Y_i) = \text{Var}(\mathbf{e}_i' \mathbf{X}) = \mathbf{e}_i' \text{Var}(\mathbf{X}) \mathbf{e}_i = \mathbf{e}_i' \boldsymbol{\Sigma}_{p \times p} \mathbf{e}_i, \quad (3.3)$$

respectivamente. A covariância entre  $Y_i$  e  $Y_k$  é representada por

$$\text{Cov}(Y_i, Y_k) = \text{Cov}(\mathbf{e}_i' \mathbf{X}, \mathbf{e}_k' \mathbf{X}) = \mathbf{e}_i' \text{Var}(\mathbf{X}) \mathbf{e}_k = \mathbf{e}_i' \boldsymbol{\Sigma}_{p \times p} \mathbf{e}_k. \quad (3.4)$$

### 3.1.1 Componentes principais via matriz de covariância

De acordo com Ferreira (2008), a definição dos componentes principais é baseada na maximização de sua variância, ou seja, maximizar  $\text{Var}(Y_i) = \mathbf{e}_i' \Sigma_{p \times p} \mathbf{e}_i$ . No entanto, o máximo da variância do componente principal não existe, pois, na medida em que os componentes do vetor  $\mathbf{e}_i$  crescem, a variância crescerá para o infinito. Para eliminar essa indeterminação, Johnson e Wichern (2007) indicam que devemos impor a restrição de que a soma ao quadrado dos coeficientes do vetor, que estabelece a combinação linear dos componentes principais, seja igual a 1. Portanto, devemos maximizar a variância  $\text{Var}(Y_i) = \mathbf{e}_i' \Sigma_{p \times p} \mathbf{e}_i$  com relação ao vetor  $\mathbf{e}_i$ , sujeito à restrição de  $\sum_{j=1}^p e_{ij}^2 = \mathbf{e}_i' \mathbf{e}_i = 1$ . Para isso, podemos utilizar a técnica de multiplicadores de Lagrange (CLARK, 1976), na qual devemos maximizar

$$\max_{\mathbf{e}_i} [\mathbf{e}_i' \Sigma_{p \times p} \mathbf{e}_i - \lambda_i (\mathbf{e}_i' \mathbf{e}_i - 1)], \quad (3.5)$$

com relação a  $\mathbf{e}_i$ , sendo  $\lambda_i$  o multiplicador de Lagrange.

Para maximizar o argumento da equação 3.5, derivamos a função resultante em relação a  $\mathbf{e}_i$  e igualamos o sistema de equações a zero. Após simplificações, esse processo resulta em

$$(\Sigma_{p \times p} - \lambda_i \mathbf{I}) \mathbf{e}_i = \mathbf{0}, \quad (3.6)$$

onde  $\mathbf{I}$  é uma matriz identidade  $p \times p$ . Para mais detalhes a cerca da maximização dessa forma quadrática, consultar Ferreira (2008).

Do sistema de equações obtido na equação 3.6, verificamos a relação

$$\Sigma_{p \times p} \mathbf{e}_i = \lambda_i \mathbf{e}_i. \quad (3.7)$$

Substituindo a equação 3.7 na equação 3.3 e considerando a restrição  $\mathbf{e}_i' \mathbf{e}_i = 1$ , podemos mostrar que

$$\begin{aligned} \text{Var}(Y_i) &= \mathbf{e}_i' \Sigma_{p \times p} \mathbf{e}_i = \mathbf{e}_i' \lambda_i \mathbf{e}_i = \lambda_i \mathbf{e}_i' \mathbf{e}_i \\ &= \lambda_i. \end{aligned} \quad (3.8)$$

De maneira análoga, substituindo 3.7 em 3.4, temos que

$$\begin{aligned} \text{Cov}(Y_i, Y_k) &= \mathbf{e}_i' \Sigma_{p \times p} \mathbf{e}_k = \mathbf{e}_i' \lambda_k \mathbf{e}_k \\ &= \lambda_k \mathbf{e}_i' \mathbf{e}_k = 0, \quad i \neq k, \end{aligned} \quad (3.9)$$

uma vez que  $\mathbf{e}_i$  e  $\mathbf{e}_k$  são ortogonais por construção, ou seja,  $\mathbf{e}_i' \mathbf{e}_k = 0$ .

Dessa forma, constatando o sistema de equações obtido na equação 3.7, temos que a definição dos componentes principais, é, na realidade, a obtenção dos autovalores e autovetores da matriz  $\Sigma_{p \times p}$ . Os autovetores  $\mathbf{e}_i$  ( $i = 1, 2, \dots, p$ ) representam o sentido da rotação dos eixos coordenados definidos pelas variáveis originais. Já os autovalores  $\lambda_i$  ( $i = 1, 2, \dots, p$ ) definem as variâncias desses novos eixos coordenados.

Segundo Ferreira (2008), geralmente, escolhemos o componente principal de maior importância como sendo aquele que apresenta maior variância ( $\max_i \lambda_i$ ), o segundo componente de maior importância, o que apresentar a segunda maior variância e assim sucessivamente até o componente principal de menor importância. Desse modo, considerando  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p$ , teremos definido os componentes principais  $Y_1 = \mathbf{e}'_1 \mathbf{X}$ ,  $Y_2 = \mathbf{e}'_2 \mathbf{X}$ ,  $\dots$ ,  $Y_p = \mathbf{e}'_p \mathbf{X}$ , respectivamente. Ao fim desse processo, temos tantos componentes principais quanto variáveis originais.

Após o desenvolvimento do processo de estimação dos componentes principais através dos autovetores e autovalores da matriz de covariâncias  $\Sigma_{p \times p}$ , podemos formalizar a definição desses componentes através da sua representação matricial, para, assim, apresentar algumas definições.

### 3.1.2 Representação matricial dos componentes principais

Segundo Mingoti (2007), o vetor aleatório  $\mathbf{Y}$ , composto de  $p$  componentes principais das  $p$  variáveis aleatórias do vetor  $\mathbf{X}$ , pode ser representado por

$$\mathbf{Y} = \mathbf{O}'\mathbf{X}, \quad (3.10)$$

onde  $\mathbf{O}_{p \times p}$  é a matriz ortogonal de dimensão  $p \times p$ , constituída pelos autovetores normalizados da matriz  $\Sigma_{p \times p}$ . Portanto,

$$\mathbf{O}_{p \times p} = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{21} & \cdot & \cdot & \cdot & e_{p1} \\ e_{12} & e_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & e_{p2} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ e_{1p} & e_{2p} & \cdot & \cdot & \cdot & e_{pp} \end{bmatrix} = [\mathbf{e}_1 \ \mathbf{e}_2 \ \dots \ \mathbf{e}_p]. \quad (3.11)$$

O vetor de médias de  $\mathbf{Y}$  é dado por

$$E(\mathbf{Y}) = E(\mathbf{O}'\mathbf{X}) = \mathbf{O}'\boldsymbol{\mu}, \quad (3.12)$$

enquanto a matriz de covariâncias é obtida a partir de

$$\text{Cov}(\mathbf{Y}) = \text{Cov}(\mathbf{O}'\mathbf{X}) = \mathbf{O}'\text{Cov}(\mathbf{X})\mathbf{O} = \mathbf{O}'\Sigma\mathbf{O}. \quad (3.13)$$

Considerando a decomposição espectral da matriz  $\Sigma_{p \times p}$ , apresentada por Johnson e Wichern (2007), temos que

$$\Sigma = \mathbf{O}\Lambda\mathbf{O}', \quad (3.14)$$

onde  $\mathbf{O}$  é a matriz composta pelos autovetores normalizados de  $\Sigma_{p \times p}$ , apresentada na equação 3.11, e  $\Lambda_{p \times p}$  é uma matriz diagonal de autovalores de  $\Sigma_{p \times p}$ , ou seja,

$$\Lambda_{p \times p} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \lambda_p \end{bmatrix}. \quad (3.15)$$

Dessa forma, substituindo a equação 3.14 na equação 3.13, temos

$$\text{Cov}(\mathbf{Y}) = \mathbf{O}'\mathbf{O}\Lambda\mathbf{O}'\mathbf{O}. \quad (3.16)$$

Como a matriz  $\mathbf{O}$  é ortogonal, sua transposta é igual a sua inversa, logo

$$\text{Cov}(\mathbf{Y}) = \mathbf{O}^{-1}\mathbf{O}\Lambda\mathbf{O}^{-1}\mathbf{O} = \mathbf{I}\Lambda\mathbf{I} = \Lambda. \quad (3.17)$$

Portanto, a matriz de covariâncias de  $\mathbf{Y}$  é dada por

$$\text{Cov}(\mathbf{Y}) = \Lambda. \quad (3.18)$$

Esse resultado mostra que os componentes principais que constituem o vetor  $\mathbf{Y}$  são não correlacionados entre si e que cada autovalor  $\lambda_i$  representa a variância de um componente principal  $Y_i$ , corroborando as conclusões já obtidas em 3.8 e 3.9.

De acordo com Ferreira (2008), a variância total de um vetor aleatório é igual ao traço da sua respectiva matriz de covariâncias. Então, a variância total do vetor  $\mathbf{X}$  é obtida através de

$$\text{Variância Total de } \mathbf{X} = \text{Traço}(\Sigma_{p \times p}) = \sum_{i=1}^p \sigma_i^2. \quad (3.19)$$

Considerando novamente a decomposição espectral de  $\Sigma_{p \times p}$ , apresentada em 3.14, temos que

$$\begin{aligned} \text{tr}(\Sigma_{p \times p}) &= \text{tr}(\mathbf{O}\Lambda\mathbf{O}') = \text{tr}(\Lambda\mathbf{O}'\mathbf{O}) = \text{tr}(\Lambda\mathbf{O}^{-1}\mathbf{O}) \\ &= \text{tr}(\Lambda\mathbf{I}) = \text{tr}(\Lambda) = \sum_{i=1}^p \lambda_i. \end{aligned} \quad (3.20)$$

Logo,

$$\text{tr}(\Sigma_{p \times p}) = \sum_{i=1}^p \sigma_i^2 = \sum_{i=1}^p \lambda_i. \quad (3.21)$$

Dessa forma, Mingoti (2007) afirma que a variância total do vetor  $\mathbf{X}$  pode ser descrita através da variância total do vetor aleatório  $\mathbf{Y}$ , uma vez que, em termos desta medida global de variação, os vetores  $\mathbf{X}$  e  $\mathbf{Y}$  são equivalentes.

Tomando o resultado em 3.21, podemos definir a proporção da variância total de  $\mathbf{X}$ , que é explicada pelo  $i$ -ésimo componente principal como sendo

$$\frac{\text{Var}[Y_j]}{\text{Variância Total de } \mathbf{X}} = \frac{\lambda_j}{\text{Traço}(\Sigma_{p \times p})} = \frac{\lambda_j}{\sum_{i=1}^p \lambda_i}. \quad (3.22)$$

Em geral, multiplica-se a razão em 3.22 por 100, obtendo assim o resultado em porcentagem. Como os autovalores estão ordenados em ordem decrescente, o primeiro componente é o de maior variabilidade, e o  $p$ -ésimo é o de menor. Portanto, espera-se que o primeiro componente principal tenha a maior proporção de explicação da variância total de  $\mathbf{X}$ , o segundo componente principal tenha a segunda maior proporção e assim por diante.

Generalizando a definição em 3.22, temos que a proporção da variância total que é explicada pelos  $k$  primeiros componentes principais é definida como

$$\frac{\sum_{j=1}^k \text{Var}[Y_j]}{\text{Variância Total de } \mathbf{X}} = \frac{\sum_{j=1}^k \lambda_j}{\text{Traço}(\Sigma_{p \times p})} = \frac{\sum_{j=1}^k \lambda_j}{\sum_{i=1}^p \lambda_i}. \quad (3.23)$$

Segundo Mingoti (2007), se os  $k$  primeiros componentes principais explicam uma grande parte da variância total do vetor  $\mathbf{X}$ , pode-se restringir o foco do estudo apenas ao vetor aleatório  $(\mathbf{Y}_1 \ \mathbf{Y}_2 \ \dots \ \mathbf{Y}_k)'$ . Consequentemente, um conjunto reduzido  $k$ -dimensional de variáveis aleatórias pode ser trabalhado, em vez de um conjunto maior  $p$ -dimensional, sem que ocorra uma perda significativa de informação sobre a estrutura de variâncias e covariâncias original do vetor  $\mathbf{X}$ . Pelo teorema da decomposição espectral (JOHNSON; WICHERN, 2007), ao restringir-se o foco da atenção somente para as  $k$  primeiras componentes, a matriz de covariâncias  $\Sigma_{p \times p}$  estará sendo aproximada por

$$\Sigma_{p \times p} \approx \sum_{i=1}^k \lambda_i \mathbf{e}_i \mathbf{e}_i'. \quad (3.24)$$

Dessa forma, o grau de precisão e de representatividade das  $k$  componentes principais dependerá de quão adequado o modelo parcimonioso tenha ajustado a matriz de covariâncias  $\Sigma_{p \times p}$ . Quando  $k = p$ , tem-se que a matriz  $\Sigma_{p \times p}$  é reproduzida com exatidão pela estrutura de variância relacionada aos componentes principais.

Após obtermos os componentes principais, podemos agora avaliar o grau de associação existente entre esses componentes e as variáveis originais. Para isso, primeiro é necessário definir a covariância entre o vetor de variáveis originais e os componentes principais através de

$$\text{Cov}(\mathbf{Y}, \mathbf{X}) = \text{Cov}(\mathbf{O}'\mathbf{X}, \mathbf{X}) = \mathbf{O}'\text{Cov}(\mathbf{X}) = \mathbf{O}'\Sigma. \quad (3.25)$$

Considerando novamente a definição na equação 3.14, obtemos

$$\begin{aligned} \text{Cov}(\mathbf{Y}, \mathbf{X}) &= \mathbf{O}'\Sigma = \mathbf{O}'\mathbf{O}\Lambda\mathbf{O}' = \mathbf{O}^{-1}\mathbf{O}\Lambda\mathbf{O}' \\ &= \Lambda\mathbf{O}'. \end{aligned} \quad (3.26)$$

De acordo com a expressão em 3.26, temos que a covariância entre a  $k$ -ésima variável original e o  $i$ -ésimo componente principal é dada pelo produto entre o  $i$ -ésimo autovalor de  $\Lambda_{p \times p}$  e o  $k$ -ésimo componente do  $i$ -ésimo autovetor, ou seja,

$$\text{Cov}(Y_i, X_k) = \lambda_i e_{ik}. \quad (3.27)$$

Por definição, a correlação entre a  $k$ -ésima variável original e o  $i$ -ésimo componente principal é dada por

$$r_{Y_i, X_k} = \frac{\text{Cov}(Y_i, X_k)}{\sqrt{\text{Var}Y_i}\sqrt{\text{Var}X_k}}. \quad (3.28)$$

Substituindo 3.27 em 3.28, obtemos

$$r_{Y_i, X_k} = \frac{\lambda_i e_{ik}}{\sqrt{\lambda_i}\sqrt{\sigma_k^2}} = \frac{\sqrt{\lambda_i}e_{ik}}{\sigma_k}. \quad (3.29)$$

Resumidamente, podemos concluir que a definição dos componentes principais, é, na verdade, a obtenção dos autovalores e autovetores da matriz de covariâncias das  $p$  variáveis originais  $X_j$ . Por essa definição, temos que esses componentes principais que constituem o vetor  $\mathbf{Y}$  são não correlacionados entre si. A redução da dimensionalidade do conjunto original de dados, passando da dimensão  $p$  para uma dimensão  $k$  menor que  $p$ , pode ser realizada através da utilização dos  $k$  primeiros componentes principais, visto que eles explicam a maior parte da variação total dos dados.

### 3.1.3 Componentes principais via matriz de correlação

Segundo Ferreira (2008), a extração de componentes principais da matriz de covariâncias  $\Sigma_{p \times p}$  representa a essência e o objetivo natural do método dos componentes principais,



especialmente se eles forem utilizados posteriormente em outras análises. Entretanto, o autor cita que em algumas situações, o efeito da escala das variáveis pode fazer com que ocorra uma predominância na representação dos componentes principais por parte de algumas variáveis que apresentam grandes variâncias. Consequência desse cenário é que as demais variáveis irão contribuir muito pouco na determinação dos componentes principais, tornando essas combinações lineares pouco úteis. A discrepância entre as variâncias é muitas vezes causada pela diferença das unidades de medidas das variáveis.

Mingoti (2007) aponta que esse problema pode ser amenizado se uma transformação for efetuada nos dados originais, de modo a equilibrar os valores de variância ou a colocar os dados na mesma escala de medida. A autora ainda indica que uma das transformações mais comuns nesse tipo de situação é aquela em que cada variável é padronizada pela sua média e desvio padrão. Dessa forma, a técnica de componentes principais é aplicada à matriz de covariâncias das variáveis padronizadas, o que é equivalente a obter-se os componentes principais através da matriz de correlação  $\mathbf{P}_{p \times p}$  das variáveis aleatórias  $X_i$  originais,  $i = 1, 2, \dots, p$ .

Consideremos  $Z_i = (X_i - \mu_i) / \sigma_i$ , onde  $E(X_i) = \mu_i$  e  $\text{Var}(X_i) = \sigma_i^2$ . Podemos representar o vetor aleatório dessas variáveis padronizadas  $Z_i$  como sendo

$$\mathbf{Z} = \mathbf{V}^{-1/2} (\mathbf{X} - \boldsymbol{\mu}), \quad (3.30)$$

em que  $\mathbf{V}^{-1/2} = \text{diag}(1/\sigma_i)$ .

Para a aplicação da técnica de componentes principais, precisamos identificar a matriz de covariâncias do vetor aleatório padronizado  $\mathbf{Z}$ . Dessa forma,

$$\begin{aligned} \text{Cov}(\mathbf{Z}) &= \text{Cov} \left[ \mathbf{V}^{-1/2} (\mathbf{X} - \boldsymbol{\mu}) \right] = \mathbf{V}^{-1/2} \text{Cov}(\mathbf{X} - \boldsymbol{\mu}) \mathbf{V}^{-1/2} \\ &= \mathbf{V}^{-1/2} \text{Cov}(\mathbf{X}) \mathbf{V}^{-1/2} = \mathbf{V}^{-1/2} \boldsymbol{\Sigma} \mathbf{V}^{-1/2} \\ &= \mathbf{P}. \end{aligned} \quad (3.31)$$

Portanto, sempre que aplicarmos essa padronização, independentemente da escala original das variáveis, teremos que a matriz de covariâncias do vetor aleatório  $\mathbf{Z}$  padronizado em posição e em escala, será igual à matriz de correlação  $\mathbf{P}_{p \times p}$ . Isso posto, aplicando a técnica de componentes principais na matriz de correlação  $\mathbf{P}_{p \times p}$ , os componentes principais obtidos serão combinações lineares das variáveis  $X_i$  padronizadas.

Com o propósito de se manter uma notação única em todo o capítulo, denotaremos os autovalores da matriz  $\mathbf{P}_{p \times p}$  por  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p$  e os seus respectivos autovetores normalizados por  $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \dots, \mathbf{e}_p$ , onde  $\mathbf{e}_i = [e_{i1} \ e_{i2} \ e_{ip}]'$ , de maneira semelhante ao que foi estabelecido na

seção 3.1.1. Assim, o  $i$ -ésimo componente principal da matriz  $\mathbf{P}_{p \times p}$ ,  $j = 1, 2, \dots, p$ , é definido por

$$Y_i = \mathbf{e}_i' \mathbf{Z} = e_{i1}Z_1 + e_{i2}Z_2 + \dots + e_{ip}Z_p. \quad (3.32)$$

Os componentes principais obtidos a partir da matriz de correlação  $\mathbf{P}_{p \times p}$  apresentam as mesmas propriedades dos componentes principais obtidos a partir da matriz de covariâncias  $\Sigma_{p \times p}$ , expostas na subseção 3.1.2. Para mais detalhes a cerca do desenvolvimento dessas propriedades para o caso da matriz de correlação, consultar Ferreira (2008). De acordo com Mingoti (2007), podemos listar os seguintes resultados para o  $i$ -ésimo componente principal definido na equação 3.32.

- (a) A variância de  $Y_i$  é igual a  $\lambda_i$ , para todo  $i = 1, 2, \dots, p$ , e a covariância entre  $Y_i$  e  $Y_k$  é igual a zero, para qualquer  $i \neq j$ .
- (b) A correlação entre o componente  $Y_i$  e a variável padronizada  $Z_j$  é igual a

$$r_{Y_i, Z_j} = r_{Y_i, X_j} = e_{ij} \sqrt{\lambda_i}, \quad (3.33)$$

e, conseqüentemente, as variáveis padronizadas  $Z_j$  com maiores coeficientes no componente principal  $Y_i$  são aquelas que apresentam maior correlação com o componente;

- (c) A variância total do vetor aleatório  $\mathbf{Z} = (Z_1, Z_2, \dots, Z_p)'$  é igual ao traço da matriz de correlação  $\mathbf{P}_{p \times p}$ . Como a matriz  $\mathbf{P}_{p \times p}$  é definida por

$$\mathbf{P}_{p \times p} = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \cdots & 1 \end{bmatrix}, \quad (3.34)$$

em que  $r_{ik}$ , para todo  $i \neq k$ , é a correlação entre as variáveis aleatórias  $X_i$  e  $X_k$ , temos que o traço é igual a

$$tr(\mathbf{P}_{p \times p}) = \sum_{i=1}^p 1 = p. \quad (3.35)$$

Logo, a variância total de  $\mathbf{Z}$  é igual ao valor  $p$ , ou seja, o número de variáveis medidas em cada elemento amostral. Portanto, a proporção da variância total explicada pelo  $i$ -ésimo componente principal é igual a  $\frac{\lambda_i}{p}$ , para todo  $i = 1, 2, \dots, p$ .

### 3.1.4 Testes para validação do modelo de componentes principais

Em diversos estudos é muito comum a utilização de questionários para buscar e avaliar indicadores referentes a determinado evento de interesse dentro de uma amostra populacional. No entanto, um questionário deve ser corretamente elaborado para que se reproduza, de maneira confiável, a realidade. Para isso, surgiram vários testes com o intuito de avaliar se de fato os dados resultantes da aplicação de um questionário são adequados para a realização da análise, sendo possível, assim, obter resultados condizentes com a realidade.

Segundo Almeida, Santos e Costa (2010), um questionário corretamente elaborado deve levar em consideração dois principais aspectos: sua validade e sua confiabilidade. A validade de um instrumento de medida é a característica de maior importância para avaliar sua efetividade. Diz-se que um instrumento é válido quando, a partir dele, se mede o que se deseja. E, para ser válido, o instrumento deve ser confiável.

A confiabilidade e a adequação de uma estrutura de dados pode ser medida por meio de diversos critérios. A seguir, serão descritos os testes utilizados nesta tese.

#### A. Coeficiente de Cronbach

De acordo com Cortina (1993), o coeficiente Alfa de Cronbach é certamente uma das medidas estatísticas mais importantes e difundidas na literatura envolvendo construção e aplicação de testes ou questionários.

A proposta do Alfa de Cronbach é expressar, por meio de um fator, o grau de confiabilidade das respostas decorrentes de um questionário, ou seja, calcular o índice de consistência interna dos dados. Esse coeficiente foi apresentado por Lee J. Cronbach em 1951. De forma resumida, o Alfa de Cronbach mede a correlação entre as respostas de um questionário aplicado a partir da análise das respostas dadas pelos respondentes, de acordo com Hora, Monteiro e Arica (2010).

O Alfa de Cronbach é calculado a partir do somatório da variância dos itens individuais e da soma da variância de cada avaliador. De acordo com Cronbach (1951), essa estimativa de confiabilidade é calculada por

$$\alpha = \frac{K}{K-1} \left( 1 - \frac{\sum \sigma_y^2}{\sum \sigma_x^2} \right), \quad (3.36)$$

em que  $K$ , é o número de itens do questionário,  $\sigma_x^2$  é a variância para o total de respondentes e  $\sigma_y^2$  é a variância de cada item do questionário.

Segundo Maroco (2006), o coeficiente alfa estima quão uniformemente os itens contribuem para a soma não ponderada do instrumento, variando numa escala de 0 a 1. Essa propriedade é conhecida por consistência interna da escala, e, assim, essa medida pode ser interpretada como o coeficiente médio de todas as estimativas de consistência interna que se obteriam se todas as divisões possíveis da escala fossem feitas, afirma Cronbach (1951).

Portanto, de acordo Hair *et al.* (2009), este parâmetro pode variar em um intervalo de 0 a 1. Entretanto, quanto mais próximo de 1 for o valor desse coeficiente, melhor é a consistência interna dos dados da análise. Bland e Altman (1997) afirmam que valores maiores que 0,7 já são considerados satisfatórios. Abaixo desse valor, a consistência interna da escala utilizada é considerada baixa.

## **B. Confiabilidade Composta**

Outra análise também muito utilizada para avaliar a consistência interna dos dados é realizada através do cálculo da Confiabilidade Composta (*CC*), que se dá a partir do cálculo da medida do *Rho* de Dillon-Goldstein.

Apesar da utilização do Alfa de Cronbach ser mais tradicional, essa medida se baseia nas intercorrelações das variáveis, sendo sensível, portanto, ao número de variáveis que está presente no construto (questionário), enquanto que a *CC* prioriza as variáveis de acordo com as suas confiabilidades (RINGLE; SILVA; BIDO, 2014). Dessa forma, considerando que o Alfa de Cronbach utiliza os itens da escala de forma unidimensional, onde todos os itens são correlacionados, Silva (2011) afirma que esta medida tende a ser "inflada" pela forma como trata os erros associados aos indicadores, tornando-a assim, menos confiável.

Neste sentido, Valentini e Damásio (2016) e Sbicigo, Bandeira e DellAglio (2010) alegam que a Confiabilidade Composta é considerada mais rigorosa que o Alfa de Cronbach. Isso ocorre porque, no cálculo da *CC*, as cargas ou os pesos fatoriais dos itens são passíveis de variação, enquanto no coeficiente alfa, as cargas dos itens são fixadas para serem iguais. Isso posto, a *CC* apresenta uma maior precisão por não estar associada a esse pressuposto. Entretanto, essas duas medidas são utilizadas de forma confiável para avaliar se a amostra está livre de vieses e também se as respostas analisadas conjuntamente são confiáveis.

A medida de Confiabilidade Composta indica o grau em que os indicadores do construto descrevem o construto latente comum. De acordo com Hair *et al.* (2009) e Raykov (1997), o cálculo da Confiabilidade Composta ( $CC$ ) é realizado a partir do quadrado das somas de cargas fatoriais padronizadas ( $\lambda_i$ ) para cada item  $i$  do questionário e seus respectivos erros de mensuração ( $\varepsilon_i$ ), como segue.

$$CC = \frac{(\sum \lambda_i)^2}{(\sum \lambda_i)^2 + (\sum \varepsilon_i)}, \quad (3.37)$$

em que  $\varepsilon_i = 1 - \lambda_i^2$ . De acordo com Aguirre-Urreta, Marakas e Ellis (2013), valores superiores a 0,70 são aceitos para indicar um grau satisfatório de consistência interna medida pela confiabilidade composta. Para mais detalhes, consultar Fornell e Larcker (1981), Padilla e Divers (2015).

### C. Medida de Kaiser (KMO)

Ainda dentro do contexto de avaliação dos dados analisados, existem alguns métodos utilizados para detectar a adequação da amostra à aplicação da Análise de Componentes Principais. Assim, para a aplicação da ACP é necessário verificar se determinados pressupostos são atendidos. Nesse sentido, a medida de Kaiser, que será descrita nesta seção, e o Teste de Esfericidade de Bartlett, descrito na seção seguinte, são medidas utilizadas para esse objetivo.

A medida de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) é um teste de adequabilidade dos dados que avalia se a correlação entre os pares de variáveis pode ser explicada por outras variáveis, de acordo com Moreira (2012). Para isso, o autor afirma ainda, que essa medida de adequação da amostra compara a magnitude dos coeficientes de correlação observados com a magnitude dos coeficientes de correlação parciais. Assim, essa medida, resultando em um valor satisfatório, garante que existe correlações suficientes nos dados estatísticos para validar a utilização da ACP. Os trabalhos de Nunes *et al.* (2015a), Olawale e Garwe (2010) e Quian (2008) utilizam o método KMO para verificar a adequabilidade dos dados à técnica ACP.

Segundo Mingoti (2007), a medida KMO foi proposta inicialmente por Kaiser (1970) e esse coeficiente é definido por

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} p_{ij}^2}, \quad (3.38)$$

em que  $r_{ij}$  é a correlação amostral entre as variáveis  $X_i$  e  $X_j$ , e  $p_{ij}$  é a correlação parcial entre  $X_i$  e  $X_j$ . A correlação parcial é definida pela correlação existente entre duas variáveis quando as outras  $p - 2$  variáveis são consideradas constantes. De acordo com Aaker, Kumar e Day (2001), valores resultantes acima de 0,6 da medida KMO são considerados aceitáveis, indicando uma boa adequação da amostra, sugerindo, portanto, que a aplicação da ACP é apropriada.

#### D. Teste de esfericidade de Bartlett

Assim como a medida de Kaiser, o teste de Bartlett também verifica se as variáveis analisadas são correlacionadas entre si e é também utilizado como uma verificação da adequabilidade dos dados à aplicação da Análise de Componentes Principais. Dessa forma, a medida KMO e o teste de Bartlett são testes estatísticos que permitem apreciar a qualidade das correlações entre as variáveis de maneira a progredir com a referida análise.

De acordo com Peres Neto *et al.* (2005), dado que toda a variação significativa dos dados foi resumida, a variação restante pode ser descrita como uma esfera multidimensional onde a orientação do eixo está posicionada arbitrariamente. Esse ponto é atingido quando não há correlação comum entre as variáveis. O teste de esfericidade avalia quando esse posicionamento arbitrário é alcançado por encontrar o eixo onde todos os componentes restantes têm valores próprios semelhantes. De acordo, ainda, com os mesmos autores, o teste original foi desenvolvido por Bartlett (1950) e recebeu várias modificações (JACKSON, 1991).

Com o intuito de verificar se os dados apresentam correlações suficientes para justificar a aplicação da ACP, já que essa análise pressupõe que as variáveis sejam correlacionadas entre si, o teste de esfericidade de Bartlett verifica se a matriz de correlação das variáveis é igual a uma matriz identidade, como já citado. Para isso, de acordo com Mingoti (2007), esse teste consiste em verificar a hipótese de que a matriz de correlação populacional é próxima ou não da matriz identidade. Dessa forma, as hipóteses testadas são

$$\begin{cases} H_0 : \mathbf{P}_{p \times p} = \mathbf{I}_{p \times p} \\ H_1 : \mathbf{P}_{p \times p} \neq \mathbf{I}_{p \times p}, \end{cases}$$

em que  $\mathbf{I}_{p \times p}$  é a matriz identidade e  $\mathbf{P}_{p \times p}$  é a matriz de correlação teórica das  $p$ -variáveis. A estatística do teste  $T$  é definida por

$$T = - \left[ n - \frac{1}{6} (2p + 11) \right] \left[ \sum_{i=1}^p \ln(\hat{\lambda}_i) \right], \quad (3.39)$$

em que  $\ln(\cdot)$  denota a função logaritmo neperiano e  $\hat{\lambda}_i, i = 1, 2, \dots, p$ , são os autovalores da matriz de correlação amostral  $\mathbf{R}_{p \times p}$ . Sob a hipótese nula e  $n$  grande, a estatística  $T$  tem distribuição aproximadamente Qui-quadrado com  $1/2p(p-1)$  graus de liberdade.

Para que o modelo de componentes principais possa ser ajustado, o teste de Bartlett deve rejeitar a hipótese nula. Dessa forma, se a estatística  $T$  for grande e significativa, então os dados são apropriados para aplicação da técnica.

### 3.1.5 Critérios de seleção dos componentes principais

#### A. Critério do percentual acumulado

Como já visto anteriormente, os componentes principais são responsáveis por reter a porcentagem da variância original, e sua extração é dada na ordem do mais explicativo para menos explicativo. Ou seja, o primeiro componente principal (CP1) é responsável pela maior variação possível existente no conjunto de dados, o segundo componente (CP2), pela segunda maior variação possível restante e assim por diante até que toda a variação do conjunto tenha sido explicada. No entanto, alguns dos primeiros componentes detêm grande parte da variabilidade explicada total, e, conseqüentemente, grande parte dessa variabilidade pode ser explicada por um número  $k$  menor de componentes quando se tem  $p$  variáveis originais,  $k \leq p$ .

De acordo com Ferreira (2008), um dos critérios mais intuitivos de seleção é baseado na ideia de reter um número  $k$  de componentes principais que seja responsável por uma grande porção de explicação da variância total contida nos dados originais padronizados ou não. Segundo Míngoti (2007), deve-se manter no estudo um número  $k$  de componentes principais que conjuntamente representem uma porcentagem  $\gamma 100\%$  da variância total, onde  $0 < \gamma < 1$  é um valor pré-determinado. Dessa forma, na prática, busca-se o valor de  $k$ , tal que

$$\frac{\sum_{j=1}^k \lambda_j}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} = \gamma. \quad (3.40)$$

A escolha do valor de  $\gamma$  deverá ser feita de acordo com a natureza do fenômeno analisado, pois não há um limite definido na literatura para o valor dessa medida. Entretanto, a dificuldade em utilizá-la está no fato de termos que determinar quanto da variação total deve ser explicada pelo modelo reduzido utilizado.

Existem diferentes valores de definição para o valor mínimo de  $\gamma$  apresentados na

literatura. De acordo com Ferreira (2008), em geral, a escolha do valor do percentual acumulado é de 70%. Entretanto, dependendo da quantidade de variáveis e da análise do grau de correlação entre elas, pode-se tornar mais baixo o ponto de corte, variando, assim, de estudo para estudo.

## **B. Critério de Kaiser**

Quando o propósito é a redução da dimensionalidade do espaço amostral, isto é, a sumarização da informação das  $p$ -variáveis originais em  $k$  componentes principais, com  $k$  menor que  $p$ , é necessário estabelecer critérios de escolha para a quantidade de componentes que deverão ser mantidos no sistema, afirma Mingoti (2007). Dessa forma, outro critério também muito utilizado na seleção de componentes principais, além do critério do percentual acumulado apresentado anteriormente, é o critério de Kaiser (1958).

Segundo Damásio (2012), tal critério propõe uma avaliação rápida e objetiva do número de componentes a ser selecionado. De forma resumida, a lógica do critério de Kaiser-Guttman é simples: cada componente selecionado apresenta um autovalor, o qual se refere ao total da variância explicada por esse componente, como visto na seção 3.1.2. A soma total dos autovalores obtidos a partir da matriz de correlação é sempre igual à quantidade de itens usados na análise. Como o objetivo da análise em questão é reduzir um determinado número de variáveis observadas em um número menor de componentes, apenas componentes principais com autovalores maiores que 1 são retidos.

A regra de paragem mais comum nas análises de componentes principais é baseada no valor dos autovalores (JACKSON, (1993). O autor afirma que, como as variáveis são frequentemente medidas em diferentes unidades, a maioria dos pesquisadores usa a matriz de correlação nas análises de componentes principais, dando, assim, a cada variável, pesos iguais na análise. Dessa forma, como já citado, a soma dos autovalores é igual ao número de variáveis. Então, no método de Kaiser-Guttman, apenas os autovalores maiores que 1 são mantidos na análise pelo fato de resumirem mais informação do que qualquer única variável original.

Seguindo o raciocínio de Damásio (2012) e Jackson (1993), Floyd e Widaman (1995) afirmam que um autovalor menor que 1 indica que um componente representa menos variação do que uma única variável. Como o objetivo de uma análise de componentes é reduzir o conjunto de variáveis, componentes com valores menores que 1 não atendem a esse propósito, sendo descartados da análise. Assim, apenas componentes com valores próprios maiores que 1 são mantidos.



Dessa forma, além do critério do percentual acumulado, foi utilizado nesta tese também o critério de Kaiser, o qual sugere que os componentes a serem mantidos no sistema sejam aqueles relacionados aos autovalores acima de 1, ou seja, mantêm-se no sistema as combinações lineares que conseguem explicar pelo menos a quantidade de variância de uma variável original padronizada.

### **3.2 Análise de Correlação Canônica**

A análise de correlação canônica (ACC) foi proposta na década de 30 por Hotelling. O principal objetivo dessa análise é estudar as relações lineares existentes entre dois conjuntos de variáveis. Assim, a ideia básica dessa técnica é resumir a informação de cada conjunto de variável independente (variável resposta) em combinações lineares, no qual, a escolha dos coeficientes dessas combinações é feita através do critério de maximização da correlação entre os conjuntos de variáveis independentes. Essa correlação mede o grau de associação existente entre os dois conjuntos de variáveis.

Segundo Ferreira (2008), a finalidade da análise de correlação canônica é a simplificação estrutural dos dados, ou seja, pode-se resumir vetores de variáveis em um número reduzido destas e restabelecer as inter-relações entre as variáveis originais a partir do menor conjunto de variáveis de ambos os vetores.

Chen *et al.* (2016) utilizam a ACC como ferramenta para projetar um sistema de detecção de falhas (FD) em processos lineares estáticos e dinâmicos.

O objetivo da aplicação da ACC nesta tese foi testar a eficácia da aprendizagem observando o nível de associação entre variáveis contidas em dois grupos diferentes de variáveis independentes com relação ao grau de satisfação (variáveis dependentes).

Assim, como nos estudos citados anteriormente, a análise de correlação canônica foi usada nesta tese como ferramenta para determinar a magnitude das relações entre os dois conjuntos, além de explicar a natureza de quaisquer relações existentes entre os conjuntos de variáveis dependentes e independentes. Além disso, a partir da ACC, foi possível inferir a importância das variáveis independentes que foram consideradas a partir da ACP em conjunto com as variáveis dependentes para analisar a influência na eficácia da aprendizagem.

## Notação

Suponha que  $X$  e  $Y$  são vetores aleatórios com dimensões  $p \times 1$  e  $q \times 1$ , respectivamente. Considere que os vetores de médias e covariância para tais vetores sejam representados por

$$\mathbb{E}(X) = \mu_X \quad \text{e} \quad \mathbb{E}(Y) = \mu_Y$$

$$\text{Var}(X, X) = \Sigma_{XX} \quad \text{e} \quad \text{Var}(Y, Y) = \Sigma_{YY}$$

$$\text{Cov}(X, Y) = \Sigma_{XY} \quad \text{e} \quad \text{Cov}(Y, X) = \Sigma_{YX}$$

As matrizes  $\Sigma_{XX}$  e  $\Sigma_{YY}$  medem as associações entre as variáveis aleatórias que estão no vetores  $X$  e  $Y$ , respectivamente. As covariâncias entre os pares de variáveis  $X$  e  $Y$  se encontram na matriz  $\Sigma_{XY}$ . No caso, a proposta de Hotelling (1933) é de que possíveis relações entre  $X$  e  $Y$  sejam estudadas por meio da análise de combinações lineares dos vetores  $X$  e  $Y$  e que essa combinação seja construída de modo que exista uma correlação forte entre eles. No caso, novas variáveis são obtidas a partir dessas combinações e as mesmas denominadas de variáveis canônicas. De acordo com Jobson (2012) o número de variáveis canônicas que pode ser obtido é igual ao mínimo valor entre  $p$  e  $q$ .

### 3.2.1 Variáveis Canônicas

Considere que  $U$  e  $V$  são combinações lineares dos vetores  $X$  e  $Y$ , de modo que pode ser representado por

$$U = a^\top X \tag{3.41}$$

$$V = b^\top Y \tag{3.42}$$

em que  $a$  e  $b$  são vetores de constantes de dimensões  $p \times 1$  e  $q \times 1$ , respectivamente, e são escolhidos de acordo com a correlação entre as variáveis  $U$  e  $V$  que seja a máxima no conjunto das combinações lineares de  $X$  e  $Y$  que têm variâncias iguais a 1 e que não são correlacionadas com as  $(k - 1)$  primeiras variáveis canônicas. De acordo com Mingotti (2007), a correlação entre  $U$  e  $V$  é denominada de correlação canônica.

A partir das combinações lineares definidas, temos que encontrar os possíveis valores das constantes  $a$  e  $b$  e, para a obtenção deles, temos as seguintes equações:

$$(\Sigma_{XY}\Sigma_{YY}^{-1}\Sigma_{YX} - \lambda\Sigma_{XX})a = 0 \quad (3.43)$$

$$(\Sigma_{YX}\Sigma_{XX}^{-1}\Sigma_{XY} - \lambda\Sigma_{YY})b = 0 \quad (3.44)$$

Como podemos observar, as equações possuem um  $\lambda$  que deve satisfazer às seguintes equações características:

$$|\Sigma_{XY}\Sigma_{YY}^{-1}\Sigma_{YX} - \lambda\Sigma_{XX}| = 0 \quad (3.45)$$

$$|\Sigma_{YX}\Sigma_{XX}^{-1}\Sigma_{XY} - \lambda\Sigma_{YY}| = 0 \quad (3.46)$$

em que  $\lambda$  é o maior autovalor da matriz  $\Sigma_{XX}^{-1}\Sigma_{XY}\Sigma_{YY}^{-1}\Sigma_{YX}$ . Para um melhor detalhamento matemático das equações, ver (SEBER, 1984), (ANDERSON, 2003) e (TIMM, 2002).

De acordo com Mingotti(2007), a correlação canônica é a correlação em valor absoluto entre as combinações lineares e é igual a  $\sqrt{\lambda}$ , isto é,

$$\rho = \lambda = (\text{Corr}(U,V))^2 = \frac{(a^\top \Sigma_{XY} b)^2}{(a^\top \Sigma_{XX} a)(b^\top \Sigma_{YY} b)}. \quad (3.47)$$

As matrizes de variância e covariância podem ser estimadas por matrizes de covariâncias amostrais, como  $S_{XX}$ ,  $S_{YY}$ ,  $S_{XY}$  e  $S_{YX}$ . Já para as matrizes de correlações canônicas, as matrizes teóricas  $P_{XX}$ ,  $P_{YY}$ ,  $P_{XY}$  e  $P_{YX}$  podem ser estimadas pelas correlações amostrais  $R_{XX}$ ,  $R_{YY}$ ,  $R_{XY}$  e  $R_{YX}$ .

Algumas medidas podem auxiliar na interpretação e na análise da qualidade da variáveis canônicas, sendo a primeira delas a carga canônica que é dada por (MINGOTTI, 2007):

$$R_{UX}^* = R_{XX}a, \quad (3.48)$$

$$R_{VY}^* = R_{YY}b, \quad (3.49)$$

$$R_{UY}^* = R_{YX}a, \quad (3.50)$$

$$R_{VX}^* = R_{XY}b. \quad (3.51)$$

A segunda medida é o cálculo da proporção de variância total, que é explicada pelas variáveis canônicas e dada por (MINGOTTI, 2007):

$$VT_U = \frac{\sum_{i=1}^p \text{corr}(U, X_i)^2}{p} \times 100 \quad (3.52)$$

$$VT_V = \frac{\sum_{i=1}^p \text{corr}(V, Y_i)^2}{q} \times 100 \quad (3.53)$$

### 3.2.2 Validação do modelo ACC e das funções canônicas geradas

Se  $X$  e  $Y$  forem independentes entre si, ou seja, não correlacionadas, a análise de correlação canônica será inútil para fazer qualquer tipo de inferência, pois a combinação linear delas também será não correlacionada. Portanto, é necessário investigar se existe uma correlação entre  $X$  e  $Y$ . No caso, temos que testar as seguintes hipóteses:

$$H_0 : \Sigma_{XY} = \mathbf{0} \quad e \quad H_1 : \Sigma_{XY} \neq \mathbf{0}$$

em que a estatística do teste de hipóteses é baseado no teste de razão de verossimilhança, então, sua estatística é dada por

$$\begin{aligned} -2\ln(\Delta) &= n \ln \left( \frac{|S_{XX}| |S_{YY}|}{|S|} \right) = n \ln \left( \frac{|R_{XX}| |R_{YY}|}{|R|} \right) = \\ &= -n \ln \left( \prod_{i=1}^p (1 - \hat{\rho}_i^{*2}) \right) = n \ln \left( \prod_{i=1}^p (1 - \lambda_i) \right) \end{aligned} \quad (3.54)$$

Ao compararmos a estatística do teste com o valor tabelado da distribuição qui-quadrado com  $pq$  graus de liberdade, se a estatística for maior ou igual ao valor tabelado, temos que a hipótese nula é rejeitada.

Para avaliar a significância das correlações canônicas, para o caso em que os vetores  $X$  e  $Y$  são normais multivariados, temos as seguintes hipóteses:

$$H_0^m : \rho_1^{*2} \neq 0, \rho_2^{*2} \neq 0, \dots, \rho_m^{*2}, \rho_{m+1}^{*2} \neq 0, \dots, \rho_k^*$$

$$H_1^m : \rho_i^{*2} \neq 0 \text{ para algum } i \geq m + 1$$

Nesse caso, estamos testando se as  $m$  primeiras correlações canônicas são as correlações significativas. Para testar as hipóteses, temos a seguinte estatística do teste dada por

$$\begin{aligned} & -(n-1 - \frac{1}{2}(p+q+1)) \ln \left( \prod_{i=m+1}^k (1 - \hat{\rho}_i^{*2}) \right) = & (3.55) \\ & = -(n-1 - \frac{1}{2}(p+q+1)) \ln \left( \prod_{i=m+1}^k (1 - \lambda_i) \right), \end{aligned}$$

em que  $k$  é o total de correlações canônicas. No caso, rejeita-se a hipótese nula se a estatística do teste for maior ou igual ao valor tabelado da distribuição chi-quadrado com  $(p-m)(q-m)$  graus de liberdade.

Outros testes que podem ser empregados para verificar a significância das correlações canônicas são lambda de Wilks, critério de Pillai, traço de Hotteling e a maior raiz de Roy (HAIR *et al.*, 2009).

Dessa maneira, ao utilizar a correlação canônica pode ocorrer uma simplificação do problema, pois ela determina quais as variáveis são mais importantes para análise e as que contribuem negativa ou positivamente, ou seja, verifica se existe uma forte ou uma fraca influência entre os grupos e as variáveis.

## **4 DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DO SIMULADOR INTERATIVO PARA TREINAMENTO NA ÁREA DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

Como já citado neste trabalho, o ensino de engenharia no mundo está enfrentando desafios significativos, pois os cursos nessa área estão carentes de investimentos, de novas metodologias, de novas formas de ensinar e de incentivos para que os estudantes não desistam e concluam seus cursos. Ferramentas computacionais, laboratórios virtuais com diferentes simulações, por exemplo, podem apoiar os processos de ensino e aprendizagem. Apresentamos, neste capítulo, o desenvolvimento e a aplicação de um simulador para apoiar os estudantes da área de engenharia elétrica e profissionais da área em seus processos de aprendizagem. O simulador proposto incorpora tecnologias de Realidade Virtual (RV) na melhoria da compreensão de manobras em equipamentos de energia dos sistemas de distribuição. Como parte da contribuição desta pesquisa aplicada, validamos o simulador a partir de teste e aplicação em uma turma-piloto de um curso na área de engenharia ofertado na modalidade a distância. Nessa etapa de aplicação, foram realizadas análises estatísticas e investigações de avaliação focadas na eficácia de aprendizagem na perspectiva dos estudantes, observando-se três recursos educacionais: funcionalidade do ambiente virtual de aprendizagem (AVA), *design* instrucional do conteúdo e uso de simuladores.

Este capítulo apresenta os aspectos relevantes do processo de desenvolvimento do simulador e mostra a análise e os resultados de sua implementação. Sendo assim, a seção 4.1 aborda o referencial teórico utilizado para fundamentar o simulador proposto; a seção 4.2 descreve o contexto de concepção do simulador, explorando o processo de operação e manutenção de redes de distribuição aérea; a seção 4.3 apresenta o desenvolvimento da pesquisa e os procedimentos, incluindo o desenvolvimento do simulador e a análise dos dados coletados; a Seção 4.4 mostra os resultados e a discussão.

### **4.1 Realidade Virtual no Ensino de Engenharia**

A realidade virtual (RV) é uma interface avançada do usuário que é capaz de fornecer simulação em tempo real e interações através de múltiplos canais sensoriais (BURDEA; COIFFET, 2003). Assim, a fim de convencer o cérebro de que o mundo sintético é legítimo, o simulador computacional monitora os movimentos do participante e ajusta a exposição sensorial ou a exibição de uma forma que nos fornece a sensação de estar imersos ou estar presente na simulação (CRAIG; SHERMAN; WILL, 2009).

A modelagem dos ambientes virtuais fornecida pela RV através de linguagens VRML<sup>1</sup> (Virtual Reality Modeling Language), em X3D ou ferramentas como Blender, 3DMax, entre outras, alinhadas com ferramentas utilizadas para construir cenas, animações e linguagem de programação como JavaScript permitem que profissionais, estudantes e professores possam interagir, visualizar, explorar e experimentar situações reais cotidianas dos envolvidos na aplicação. A RV, então, pode ser utilizada com vasta aplicação na área de ensino e treinamento em engenharia.

Zavalani e Spahiu (2012) utilizaram o fator curiosidade dos estudantes para explorar as técnicas de realidade virtual disponíveis na internet e apontaram essa estratégia como uma inovadora abordagem de aprendizagem para a área de engenharia. Os autores separaram dois grupos de estudantes com o mesmo potencial para resolver um trabalho proposto. Um grupo utilizou os recursos WWW (World Wide Web) envolvendo ferramentas de RV, e outro não. Os resultados dos grupos não mostraram que os estudantes que terminaram o trabalho com o modelo RV desempenharam melhor a tarefa, em comparação ao grupo que não utilizou ferramentas. Entretanto, houve uma tendência promissora em favor do uso de técnicas de RV aplicadas ao trabalho e a comprovação de que o estudo de caso é útil no processo de aprendizagem na engenharia.

Valdez, Ferreira e Maciel Barbosa (2013) utilizaram um sistema de realidade virtual para *desktop* aplicado ao ensino de engenharia. O trabalho desses autores apresenta um sistema de aprendizagem da disciplina de teoria de circuitos, no qual se fornece a possibilidade de entender a relação entre os conceitos físicos de um circuito elétrico, corrente contínua e alternada, através de simulações de computador e animações. O projeto também serviu para melhorar a habilidade no uso de equipamentos elétricos e para destacar os benefícios potenciais do uso de RV para essa finalidade. Os autores também destacaram que, no contexto educacional, os ambientes virtuais são capazes de beneficiar a comunicação entre professores e estudantes e dos estudantes entre si, fornecendo novas oportunidades para os discentes participarem mais ativamente de seu próprio processo de aprendizagem.

Na perspectiva de treinamento utilizando RV, há uma grande diversidade de trabalhos. Chang *et al.* (2010) apresentam um sistema de simulação de treinamento para manutenção de equipamentos de uma subestação utilizando técnicas de realidade virtual. Em seguida, propõem a concepção, implementação e arquitetura desse sistema. Um exemplo de operação de manutenção

---

<sup>1</sup> Linguagem para modelar mundos digitais em três dimensões

de um transformador virtual é ilustrado na pesquisa desses autores. Os autores concluíram que a RV é uma alternativa viável para auxiliar a manutenção de subestação de energia elétrica e que, através da tecnologia, há uma facilidade para exercitar e padronizar o procedimento de manutenção de equipamentos de uma subestação.

Sousa *et al.* (2010), por sua vez, ilustram a concepção e a experimentação de um sistema RV para treinamento, mas vão além dos objetivos de Chang *et al.* (2010), pois visam à formação de profissionais, estagiários e estudantes por intermédio de um ambiente virtual através de módulos para montagem, manutenção e operação de peças de uma unidade hidrelétrica de energia (UHE). O sistema adota uma arquitetura modular, o que faz com que esse sistema seja extensível e flexível.

Em Galvan-Bobadilla *et al.* (2013) é introduzida uma aplicação de tecnologia de realidade virtual para treinamento de operadores em linhas de um sistema elétrico de potência. O sistema incorpora várias manobras de manutenção e operação de redes de distribuição subterrânea de alta, média e baixa tensões. Esse sistema foi aplicado para treinamento de operadores em todas as divisões de uma concessionária de energia elétrica no México com excelentes resultados.

Alinhado à investigação de Galvan-Bobadilla *et al.* (2013), o simulador proposto nesta pesquisa apresenta uma rede de distribuição aérea em realidade virtual para fins didáticos. No simulador, são apresentadas diversas situações reais em que é possível ao usuário, por intermédio da tecnologia aplicada, executar diferentes operações. O simulador diferencia-se da proposta de Galvan-Bobadilla *et al.* (2013) por ser aplicado em rede de distribuição aérea e por ter finalidade didática, já que, o público-alvo, nesse caso não são apenas profissionais da área, mas também alunos do curso técnico de eletrotécnica que estudam na modalidade a distância em uma instituição pública de ensino federal.

Outro diferencial a ser destacado com o uso do simulador proposto nesta pesquisa é o incentivo aos estudantes participantes do projeto a prosseguirem com seus estudos em cursos de engenharia e o estímulo dado aos alunos de cursos técnicos a ingressarem nos cursos de engenharia.

#### **4.2 Contexto de Concepção do Simulador: Operação e Manutenção de Redes de Distribuição Aéreas no Brasil**

O crescimento do sistema de distribuição de energia elétrica nas duas últimas décadas, no Brasil, foi impulsionado por várias ações do Governo Federal. Em 2002, entrou em vigor a



Lei Federal nº 10.438, que trata da universalização do serviço público de energia elétrica. Outro incentivo federal foi a criação do programa Luz para Todos em 2003, que tem como finalidade viabilizar a universalização do acesso à energia elétrica no Brasil nas áreas rurais.

A expansão do sistema elétrico, além de beneficiar a população de baixa renda, lançou um grande desafio para as empresas distribuidoras de energia, que é assegurar a qualidade no fornecimento, ou seja, garantir a qualidade do serviço e do produto oferecidos aos consumidores.

De acordo com Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a qualidade dos serviços prestados compreende a avaliação das interrupções no fornecimento de energia elétrica. Destacam-se, nesse aspecto, os indicadores de continuidade coletivos, DEC (duração equivalente de interrupção por unidade consumidora) e FEC (frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora).

Para garantir a qualidade do produto, que, nesse caso, é a entrega de energia aos consumidores, é imprescindível que o sistema de distribuição de energia elétrica opere dentro dos limites mínimos e máximos dos níveis de tensão estabelecidos pela resolução normativa 505/2001 da ANEEL. De acordo com Araújo *et al.* (2013), a necessidade de operar os sistemas elétricos de forma otimizada, reduzindo as perdas elétricas, melhorando o rendimento e maximizando os lucros, sempre obedecendo aos limites definidos pelos órgãos regulatórios, tem se tornado uma diretriz praticamente obrigatória para assegurar a qualidade no fornecimento e a competitividade das concessionárias.

Visando atender as resoluções normativas da ANEEL, as concessionárias de energia elétricas instalam diversos equipamentos especiais ao longo das suas redes de distribuição, para garantir adequados níveis de tensão e reduzir a duração e frequência das interrupções provocadas por falhas de naturezas diversas. Dentre os equipamentos especiais, destacam-se os reguladores de tensão, religadores e seccionadores automáticos.

Normas internacionais como a britânica Occupational Health and Safety Assessment Services (OHSAS 18001)<sup>2</sup>, e a brasileira, Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade (NR-10)<sup>3</sup>, determinam os requisitos mínimos de segurança para evitar os perigos e riscos aos quais os trabalhadores podem estar expostos. As concessionárias de energia, por sua vez, estabelecem procedimentos de manutenção e operação nos diversos equipamentos instalados nessas redes visando à garantia da segurança dos seus colaboradores e de terceiros e à integridade física do sistema elétrico, à manutenção da qualidade e à continuidade no fornecimento de

<sup>2</sup> Disponível em: <http://www.aims.org.pk/wp-content/uploads/2014/08/OHSAS-18001-2007-Standards.pdf>

<sup>3</sup> Disponível em: [http://www.ccb.usp.br/arquivos/arqpeessoal/1360237189\\_r10atualizada.pdf](http://www.ccb.usp.br/arquivos/arqpeessoal/1360237189_r10atualizada.pdf)

energia.

Consequentemente, os métodos de treinamento convencionais envolvem custos e riscos nas atividades de operação das redes elétricas. Procedimentos recorrentes, como instalações e retiradas de equipamentos de proteção nas redes elétricas, se efetuados de forma incorreta, podem provocar sérios danos aos operadores e às instalações. A interrupção não controlada da corrente elétrica nas redes de distribuição pode desencadear o surgimento de arco-elétrico (IEC 62271-102, 2001) em chaves de proteção, provocando desgaste prematuro, curto-circuito, princípios de incêndios, explosões, lesões ou morte dos operadores. Além dos riscos elétricos, os operadores estão sujeitos a acidentes como quedas, atropelamentos, descargas atmosféricas, ataques de animais, dentre outros.

Para operação das redes, os operadores, além de conhecerem os riscos inerentes às atividades, necessitam conhecer os procedimentos e as normas de operação [PEX – 9, PEX-10 e PEX-17] e segurança [NR-10 e NR-18], as configurações básicas das redes, suas estruturas e seus componentes.

Dentre as estruturas e os componentes utilizados nas redes elétricas para melhorar o nível de tensão, destacam-se os bancos de capacitores e os reguladores automáticos de tensão (MADRUGA; CUNHA, 2010). Os primeiros são responsáveis por reduzir as correntes elétricas que trafegam no sistema, enquanto os reguladores automáticos de tensão diferem dos bancos de capacitores em seu princípio de funcionamento, que é análogo ao do autotransformador, o qual é capaz de manter a tensão de saída estável, mesmo havendo variações da tensão de entrada.

Para proteção das redes de distribuição, são empregados disjuntores providos de unidades de religamento. Esses equipamentos são capazes de reestabelecer o fornecimento de energia em faltas temporárias, que são comuns em redes aéreas devido a condições ambientais, como crescimento de vegetação próximo às redes, presença de animais e outros corpos estranhos.

Novos métodos de treinamento de pessoal podem reduzir os custos e os riscos envolvidos nas atividades de operação das redes elétricas. Uma adequada compreensão da operação dos equipamentos utilizados nas redes reais e o emprego de modelos tridimensionais seguindo procedimentos técnicos de segurança em um ambiente em realidade virtual controlado auxiliam na aprendizagem e na redução de riscos.

### **4.3 Desenvolvimento, Implementação, Teste e Aferição da Eficácia de Aprendizagem do Simulador Interativo**

Em função da problemática e do objetivo do simulador, que é potencializar o ensino e a aprendizagem de operação em redes de distribuição aérea, apresentam-se a seguir, o processo de desenvolvimento do simulador e a análise estatística do uso do simulador dentro de um contexto de ensino de educação a distância.

#### **A. Desenvolvimento e Implementação do Simulador Interativo**

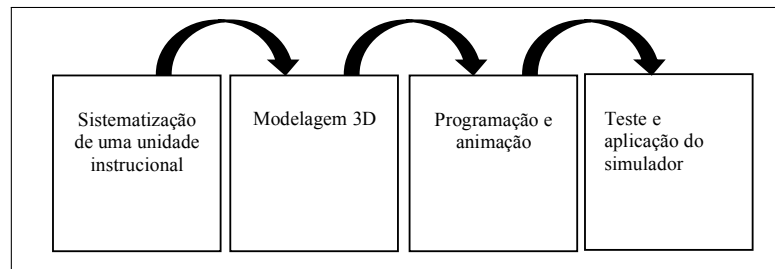
A ferramenta desenvolvida neste estudo possui uma rede de distribuição didática composta por diversas estruturas e equipamentos especiais utilizados para proteção e regulação de média tensão do sistema de distribuição de energia.

O simulador é um sistema desktop que fornece um ambiente de interação humano-computador em realidade virtual não imersiva (não utiliza nenhum tipo de dispositivo multisensorial) para usuários e está destinado à operação de chaves de manobra de um sistema de distribuição de energia. No entanto, possui características de imersão, já que o estudante pode estar imerso em uma rede de distribuição didática modelada realizando manobras em uma rede de distribuição de médio porte. Os comandos de operação dos dispositivos de entrada, como mouse e teclado, são recebidos pelo motor RV. São realizadas, pelos usuários, atividades como instalação e retirada de operação de banco de capacitores, religadores automáticos e reguladores.

Assim, o simulador desenvolvido está em consonância com a perspectiva de Muhanna (2015), que afirma que um dos principais objetivos da realidade virtual é fornecer ambientes imersivos que levam os participantes a saírem do mundo real e imergirem em mundo virtual.

A metodologia adotada para o desenvolvimento e aplicação do simulador é composta pelas seguintes etapas: a) sistematização de uma unidade instrucional, conforme modelo adaptado ISD (Instructional Systematic Design) proposto por Dick, Carey e Carey (2014); b) modelagem 3D de equipamentos, cenários e avatares; c) programação e animação de equipamentos, avatares, diálogos, cenários e atividades propostas e d) testes e aplicação em situação real de uso em um curso técnico de eletrotécnica ofertado na modalidade a distância. Cada uma das etapas, conforme ilustra a Figura 2, envolve um fluxo de atividades para sua realização.

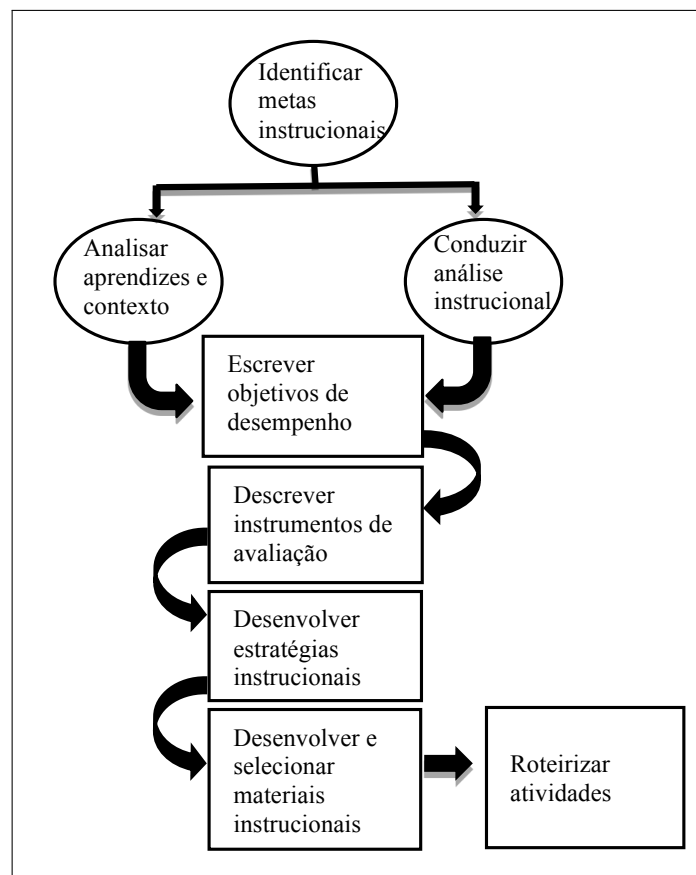
Figura 2 – Metodologia do desenvolvimento do simulador



Fonte – o autor

A primeira etapa do desenvolvimento (observar Figura 3), que é a sistematização de uma unidade instrucional, tem como resultado a roteirização de atividades, ou seja, a sistematização das ideias e das atividades, o que resulta na criação de uma experiência de ensino que tem como base a ciência instrucional utilizando-se uma abordagem de ISD (*Instructional Systems Development*).

Figura 3 – Sistematização de uma unidade instrucional



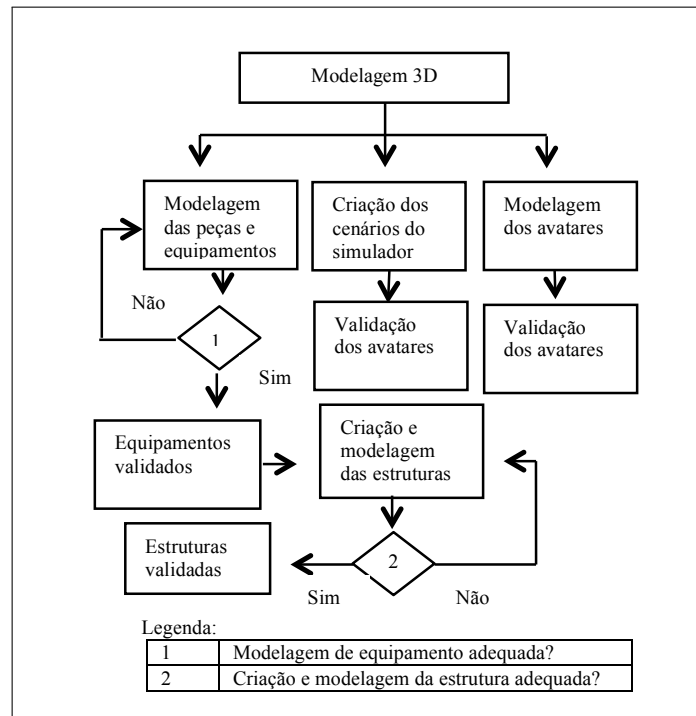
Fonte – Modelo ISD adaptado de Dick et al. (2014)

A abordagem educacional de *design* instrucional utilizada foi adaptada do modelo proposto por Dick *et al.* (2014) denominado ISD. Esse modelo visa melhorar o processo de construção de cada atividade proposta na ferramenta, seguindo procedimentos para facilitar a aprendizagem. Assim, para a roteirização de cada atividade, foram adotados os seguintes procedimentos.

- (i) Identificação da meta instrucional. No caso da concepção desse simulador, uma das metas foi a operação de chaves de manobra no sistema de distribuição de energia.
- (ii) Após a identificação da meta, analisa-se o público alvo e o contexto onde ele está inserido, e conduz-se a análise instrucional. No caso desse experimento, os usuários são estudantes de um curso técnico de eletrotécnica ofertado a distância em uma instituição federal de ensino e eletricitistas de uma concessionária de energia elétrica. Na análise instrucional, por sua vez, identificam-se as etapas relevantes para se atingir a meta instrucional estabelecida. Por exemplo, para operar corretamente um equipamento, o estudante necessita conhecer os conceitos de arco elétrico, os procedimentos de segurança etc.
- (iii) Escrita do objetivo de desempenho. Com base na análise instrucional, um objetivo de desempenho é uma descrição específica do que os alunos serão capazes de realizar quando completam uma tarefa. Por exemplo, aprender a sequência de operação das chaves.
- (iv) Desenvolvimento de instrumentos de avaliação. Nessa etapa, observa-se se o estudante alcança seu objetivo. Por exemplo, o instrumento de avaliação é capaz de aferir se o estudante realiza a operação das chaves dos equipamentos corretamente, e fornece *feedbacks* ao estudante em relação aos erros e acertos nessa atividade.
- (v) Desenvolvimento de estratégias instrucionais. Essas estratégias são utilizadas para descrever o processo de sequência, organização do conteúdo e escolha do método instrucional a partir de que o conteúdo será exposto. Por exemplo, os procedimentos e as normas de operação dos equipamentos foram expostos no simulador através de leitura e de operação das chaves de modo experimental.
- (vi) Seleção dos materiais necessários de acordo com as estratégias instrucionais estabelecidas no item (v).
- (vii) Roteirização das tarefas. Roteirizar as atividades propostas no simulador e avaliá-las tendo como base os materiais instrucionais (normas e relatórios, por exemplo).

A criação e a modelagem da rede de distribuição didática com suas respectivas estruturas, cenários e avatares seguem o fluxo disposto na Figura 4. Para essa etapa, foi utilizado o software Blender 3D<sup>4</sup>.

Figura 4 – Fluxo Modelagem 3D - Cenários e equipamentos



Fonte – a autora

As estruturas modeladas são compostas por equipamentos como banco de capacitores, religadores, reguladores de tensão, além de acessórios como postes, cruzetas, chaves, isoladores e vigas. Esses equipamentos e acessórios estão de acordo com o Padrão de Estrutura PE-034/2008, para estruturas especiais (COELCE, 2008) disponibilizados pela empresa de distribuição de energia do Ceará, à época, COELCE. Em 2016, a COELCE passou a se chamar ENEL Distribuição Ceará<sup>5</sup>.

Na modelagem do cenário e dos avatares, procura-se retratar de forma realística o ambiente que um operador de uma rede de distribuição (representado no simulador pelo avatar de um electricista) encontraria na prática profissional. É modelada também uma localidade ícone de uma cidade para que o usuário possa ter a sensação real de estar imerso no simulador.

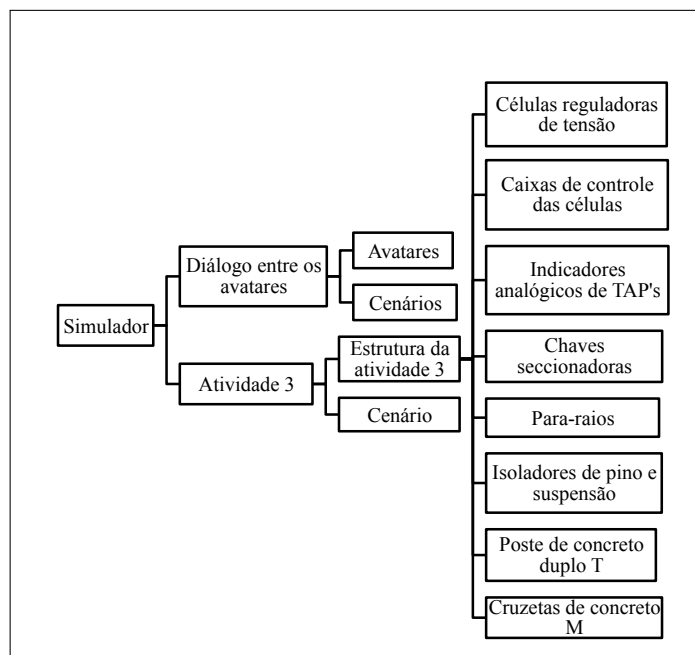
Uma das atividades propostas no simulador é colocar/retirar de operação o regulador em delta aberto das redes de distribuição de energia. Todas as atividades presentes no simulador

<sup>4</sup> <http://www.blender.org>

<sup>5</sup> <http://www.eneldistribuicao.com.br>

envolvem uma conversa prévia ao “pé do poste” entre os avatares instrutor e eletricista com objetivo de repassar os procedimentos necessários para fazer a manutenção requerida. A implementação dessa atividade requer o emprego de diferentes componentes, que são cenas, objetos tridimensionais, animações, menus e sons. A Figura 5 mostra a categorização dos componentes gráficos presentes nessa atividade.

Figura 5 – Categorização dos componentes gráficos da terceira atividade



Fonte – a autora

A etapa subsequente de desenvolvimento do simulador é a programação-animação. A Figura 6 mostra o fluxo de atividades dessa fase. Para criar as animações das chaves de manobra operadas por avatares, menus e botões presentes nas atividades propostas no simulador, utiliza-se o motor de jogos Unity 3D<sup>5</sup> e a linguagem de programação JavaScript<sup>6</sup>.

Essa etapa possibilita ao usuário operar os equipamentos inerentes às estruturas mediante a manobra de chaves de proteção e seccionamento, seguindo-se uma sequência lógica para energização e desenergização. Durante a operação, o simulador apresenta interação com o usuário através de animações e notas de texto para facilitar a aprendizagem.

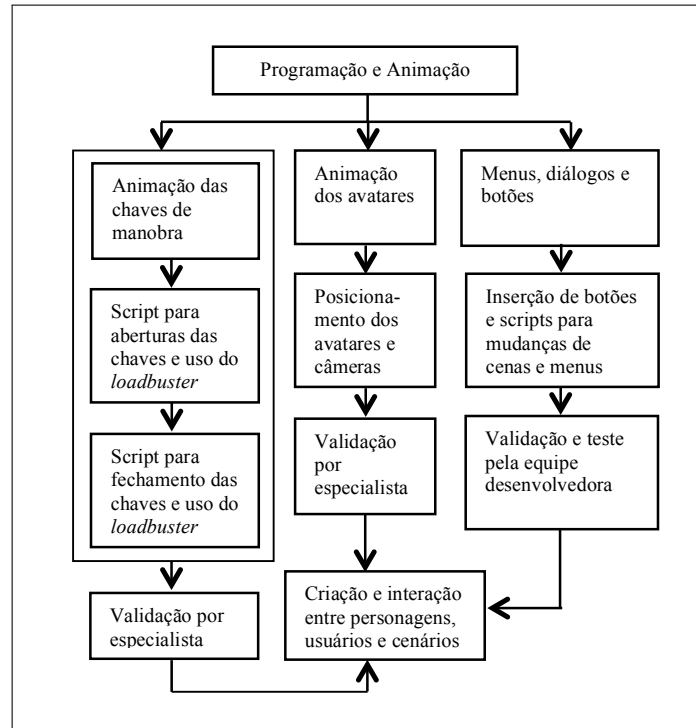
Após a sistematização das unidades instrucionais, da modelagem 3D e da programação e animação, finalmente o simulador foi testado e aplicado em uma turma-piloto do curso já mencionado (técnico em eletrônica ofertado na modalidade a distância). Para isso, foi

<sup>5</sup> <http://unity3d.com/pt>

<sup>6</sup> <https://www.javascript.com/>

disponibilizado para *download*.

Figura 6 – Fluxo Programação e animação



Fonte – o autor

## B. Teste e Aplicação do Simulador em Curso Piloto de Eletrotécnica

Como já afirmamos, o simulador foi testado e aplicado em uma turma-piloto do curso de eletrotécnica ofertado na modalidade a distância por uma instituição federal de ensino tecnológico, inserida na rede Escola Técnica Aberta do Brasil - E-TEC Brasil. Essa rede foi instituída pelo Decreto nº 7.589 de 26 de outubro de 2011 (BRASIL, 2011) e visa à oferta de educação profissional e tecnológica a distância. Nela há parcerias entre Governo Federal via Ministério da Educação, governos estaduais e/ou municipais e Distrito Federal e instituições integrantes da Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica entre outras unidades de ensino no Brasil.

Os participantes da pesquisa foram os estudantes do IV semestre do curso de eletrotécnica do polo Fortaleza na disciplina sistema elétricos de potência. A disciplina foi ofertada no primeiro semestre de 2015, totalizando 10 estudantes matriculados.

Essa disciplina possui carga horária de 80h/a e tem como objetivos: 1) descrever e



classificar um sistema elétrico de potência; 2) descrever o funcionamento dos equipamentos de disjunção; 3) descrever o funcionamento dos equipamentos de regulação de tensão; 4) descrever o funcionamento dos equipamentos utilizados nos sistemas elétrico e de transmissão; 5) conhecer as características básicas das estruturas utilizadas nas redes de transmissão e de distribuição aérea urbana e rural de energia elétrica; 6) especificar os materiais utilizados nas redes de transmissão e de distribuição aérea urbana e rural de energia elétrica. Desses objetivos, o simulador atende os itens 3, 4, 5 e 6 restringindo-se às redes aéreas de distribuição de energia.

Todas as disciplinas, ofertadas nos cursos técnicos via E-TEC Brasil, na instituição em que o experimento se realizou, utilizam um Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) como sala de aula virtual. Esse ambiente favorece a gestão e as interações entre os próprios estudantes, entre os estudantes e professores e entre os estudantes, os professores e a instituição. Além disso, suporta conteúdos de aulas, atividades, fóruns, entre outros recursos para auxiliar os estudantes no processo de ensino-aprendizagem. Esse ambiente permite a aprendizagem cooperativa, a qual traduz a perspectiva da inteligência coletiva no domínio educativo (SCHLEMMER, 2001). Uma das vantagens de se utilizar um ambiente *on-line*, segundo He *et al.* (2015) é que os estudantes podem acessar vídeos e outros materiais do curso em seu próprio ritmo.

As disciplinas dos cursos também preveem encontros presenciais de práticas laboratoriais e outras atividades com professores e estudantes. Entretanto, as práticas laboratoriais em laboratórios físicos muitas vezes são escassas no decorrer das disciplinas e, por vezes, inexistentes, o que viabiliza, portanto, o uso de simuladores.

### **C. Aferição da Eficácia da Aprendizagem com o Simulador**

A disciplina de sistemas elétricos de potência está disposta no AVA dividida em 8 aulas, dentre as quais as três últimas abordam conteúdos do simulador. Os estudantes utilizaram o simulador a partir da sexta aula. Em duas delas, usaram-no de modo virtual; na outra, de forma presencial no polo de apoio presencial com o auxílio do professor.

Estudantes e professores têm como material de apoio para disciplina um manual de operação do simulador. Além desse manual, os professores têm um guia didático de aplicação do simulador.

O manual de operação tem por objetivo apresentar o simulador proposto para operação de equipamentos especiais, tais como bancos de capacitores, religadores automáticos e

reguladores de tensão, usados em redes de distribuição de energia elétrica. No entanto, para se obter uma maior compreensão pelos estudantes dos objetivos e finalidades para desenvolvimento e uso dessa ferramenta, são discutidas inicialmente no manual de operação questões técnicas relacionadas às redes de distribuição de energia elétrica.

Já o guia didático tem como função orientar professores e tutores nas formações dos alunos dos cursos de eletrotécnica, seja na modalidade presencial, seja na modalidade a distância. O guia traz também informações gerais sobre a disciplina e onde serão inseridas as práticas sugeridas no simulador proposto, os objetivos pretendidos, dicas e métodos para trabalhar os conteúdos, entre outras informações. Para cada aula, são explicitados os objetivos, os tópicos abordados e são feitas sugestões de tarefas, como mediar e como avaliar, por exemplo. Geralmente, nos cursos na modalidade a distância, são realizados fóruns, estimulando os estudantes a aprenderem com seus pares. Neles os tutores e professores exercem papel de mediadores da aprendizagem, e não de detentores do saber. Assim, o guia traz dicas de como estimular a aprendizagem cooperativa. Outra atividade inserida no contexto é um *quiz* (questionário disponível on-line no AVA) a cada aula. Observamos aqui o ecumenismo entre os marcos behaviorista e o marco cognitivista de ensino-aprendizagem, apresentados no capítulo 2.

Após o término das aplicações do simulador na disciplina, os estudantes responderam a um instrumento de avaliação, adaptado de Ho e Dzung (2010). A aplicação do instrumento tem como um dos objetivos investigar a eficácia da aprendizagem baseada em três recursos educacionais: a funcionalidade do ambiente virtual de aprendizagem, o design instrucional do conteúdo e o uso do simulador. Além dos três recursos citados, o instrumento contempla questões relacionadas ao grau de satisfação do estudante em relação aos recursos testados. A Tabela 3 ilustra as questões de cada recurso investigado do instrumento de avaliação utilizado. A Tabela 4 ilustra as questões relacionadas ao grau de satisfação do estudante.

Para cada questão do instrumento, têm-se respostas do tipo item de Likert (BONNE JR; BONNE, 2012) variando entre "discordo completamente"(0 escore), "discordo um pouco"(1 escore), "concordo um pouco"(2 escores) e "concordo plenamente"(3 escores), eliminando, assim, possíveis respostas neutras do estudo.

De acordo com Clason e Darmody (1994) e Bonne Jr e Bonne (2012), item de Likert e escala de Likert apresentam conceitos diferentes. O item de Likert é uma declaração apresentada ao respondente do instrumento para que ele informe em que medida concorda ou discorda. Já a escala de Likert é o somatório dos escores conferidos aos vários itens de Likert

que formam um conceito. Assim, ao final do instrumento respondido, tem-se um somatório dos escores, denominado de escala de Likert, do qual podemos aferir um conceito da eficácia da aprendizagem para cada recurso.

Tabela 3 – Questões relacionadas aos recursos 1, 2 e 3 presentes no instrumento de avaliação da eficácia da aprendizagem

Recursos	Questões
<b>1) Funcionalidade do Ambiente Virtual de Aprendizagem</b>	Q1) O Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) apresenta ferramentas que estimulam o meu autoaprendizado.
	Q2) A qualidade/velocidade da conexão de rede à internet influencia a eficácia da minha aprendizagem.
	Q3) O AVA possui ferramentas para discussão em grupos que favorecem a minha eficácia da aprendizagem.
	Q4) O AVA possui funções de acompanhamento do meu desempenho e isso influencia na eficácia da minha aprendizagem.
	Q5) O AVA oferece facilidade na navegação e isso influencia na minha eficácia de aprendizagem.
	Q6) As ferramentas disponíveis no AVA, como calendário, agenda, caixa de mensagens, chats, fóruns, entre outras ferramentas influenciam a eficácia da minha aprendizagem.
	Q7) A interface do sistema influencia na minha eficácia de aprendizagem.
<b>2) Design Instrucional do Conteúdo</b>	Q8) O conteúdo dos materiais didáticos disponíveis no AVA favorece a eficácia do meu aprendizado.
	Q9) Os materiais didáticos da disciplina que fazem uso de recursos de multimídia como videoaula, links, áudio, material impresso, entre outros recursos, favorecem a minha eficácia de aprendizagem.
	Q10) A sequência da disposição do conteúdo didático nos materiais da disciplina influencia a eficácia da minha aprendizagem.
	Q11) A linguagem utilizada nos conteúdos dos materiais didáticos influencia a eficácia da minha aprendizagem.
	Q12) O período de duração da disciplina favorece a eficácia da minha aprendizagem.
	Q13) O uso de estudos de caso em diversas situações reais presentes no conteúdo da disciplina facilita minha eficácia na aprendizagem.
	Q14) As atividades propostas na disciplina auxiliam na minha eficácia da aprendizagem.
	Q15) As práticas laboratoriais ou profissionais da disciplina estão coerentes com o conteúdo ensinado e favorecem a eficácia da minha aprendizagem.
	Q16) O conteúdo abordado no simulador contribuiu para a eficácia da minha aprendizagem.

**3) Uso do Simulador**

*Continua na próxima página*

Tabela 3 – Continuação da página anterior

Recursos	Questões
	Q17) Estou satisfeito porque sei que as atividades abordadas na simulação irão contribuir para meu desempenho na vida profissional.
	Q18) O uso do simulador foi eficiente para a minha aprendizagem em comparação com outras atividades na disciplina.
	Q19) Ao passar pelas atividades através das simulações, senti confiança de que estava aprendendo e contribuindo para eficácia da minha aprendizagem.
	Q20) O conteúdo abordado nas atividades do simulador está conectado com conteúdo da disciplina e ajudou a entender melhor o conteúdo explorado.

Fonte – Adaptado de Ho e Dzung (2010)

Tabela 4 – Questões do instrumento relacionadas ao grau de satisfação dos estudantes

<b>Grau de Satisfação</b>	Q21) Comparando com a modalidade de educação presencial, a modalidade de educação a distância favorece minha eficácia de aprendizagem.
	Q22) Estou satisfeito com o material <i>on-line</i> disponível na disciplina ofertada.
	Q23) Estou satisfeito com a atuação do tutor a distância da disciplina ofertada.
	Q24) O tutor a distância demonstrou empenho no acompanhamento da turma, dinamismo nas aulas, promoveu a interação entre os estudantes e forneceu <i>feedback</i> .
	Q25) Estou satisfeito com as atividades interativas desenvolvidas ao longo da disciplina.
	Q26) Estou satisfeito porque fui estimulado a participar das discussões dos conteúdos.
	Q27) Estou satisfeito porque fui encorajado a fazer perguntas, exprimir as minhas ideias e questionar o tutor a distância.
	Q28) Estou satisfeito com o AVA em relação às suas funcionalidades.
	Q29) Estou satisfeito com o AVA em relação à disponibilidade do seu acesso.
	Q30) Estou satisfeito com o AVA em relação à velocidade de conexão.
	Q31) Estou satisfeito com a infraestrutura do polo e a velocidade de conexão com a internet.
	Q32) Estou satisfeito porque posso fazer minhas atividades em qualquer lugar, a qualquer hora, ou seja, tenho flexibilidade de tempo e espaço estudando na modalidade semipresencial. Esse aspecto é positivo e favorece a eficácia da minha aprendizagem.
	Q33) Estou satisfeito porque as práticas realizadas no decorrer da disciplina são suficientes para que eu possa exercer minha profissão adequadamente.

Fonte – Adaptado de Ho e Dzung (2010)

#### D. Análise dos Dados

Na análise de dados, o instrumento foi previamente testado antes de sua aplicação. No pré-teste, vários especialistas analisaram e responderam o instrumento. Dentre os especialistas, estavam um profissional da área de ergonomia e educação, um profissional da área da engenharia, que é professor nos cursos na modalidade a distância, um profissional da área estatística e um profissional da educação. Modificações no instrumento foram realizadas após o pré-teste.

Além das diversas questões em relação aos recursos: funcionalidade do AVA, design instrucional do conteúdo e uso do simulador, o instrumento investiga o grau de satisfação e o nível de escolaridade do estudante, a identificação do polo de apoio presencial, a quantidade de horas dedicadas por semana à disciplina e se o estudante tem experiência profissional na área. Observamos que 90% dos estudantes respondentes já possuíam experiência na área de engenharia. A Tabela 5 mostra os níveis de escolaridade dos estudantes respondentes em percentuais.

Tabela 5 – Níveis de escolaridade

Itens	EMC	GI	GC	PGC
Níveis de Escolaridade	30%	40%	20%	10%

Fonte – a autora

**Legenda:** EMC – Ensino médio completo; GI – Graduação incompleta; GC – Graduação completa e PGC – Pós-graduação completa.

Para cada recurso investigado, tem-se uma escala de Likert, que é representada pelo somatório dos escores conferidos por cada questão, variando entre um número mínimo ( $S_{min}$ ), se em todas as questões o respondente assinalar "discordo completamente", e o máximo de escores ( $S_{max}$ ), caso em que o respondente assinala "concordo plenamente" em todas as questões da dimensão analisada. A Tabela 6 apresenta esses valores. No AVA, por exemplo, têm-se 7 questões. Logo 21 são os escores máximos nesse recurso para a escala de Likert.

Tabela 6 – Somatório dos escores por recurso

Recursos	$\sum \text{Escores min } (S_{i\text{min}})$ ( $i=1,2 \text{ e } 3$ )	$\sum \text{Escores max } (S_{i\text{max}})$ ( $i=1,2 \text{ e } 3$ )
Funcionalidade do AVA ( <i>Rec 1</i> )	0	21
Design instrucional do conteúdo ( <i>Rec 2</i> )	0	24
Uso do simulador ( <i>Rec 3</i> )	0	15

Fonte – a autora

A Tabela 7 ilustra a média ( $\bar{S}$ ) e o desvio padrão ( $\sigma$ ) dos escores obtidos nas respostas das questões por recurso investigado do total de respondentes.

Tabela 7 – Média e desvio padrão dos escores obtidos

Recursos	$\bar{S} \pm \sigma$
<i>Rec 1</i>	14,1 ± 4,09
<i>Rec 2</i>	15,6 ± 5,64
<i>Rec 3</i>	11,6 ± 2,83

Fonte – a autora.

Considerando a pontuação máxima que cada recurso estudado poderia atingir, segundo o instrumento (observar Tabela 6) e, de acordo com os dados da Tabela 7, o uso do simulador foi o que apresentou maior média de pontuação, 11,6, atingindo 77,33% de sua pontuação máxima ( $S_{3\text{max}}=15, i=1$ ), ou seja, o uso de simuladores tem uma forte influência na eficácia da aprendizagem. Os demais recursos, AVA e Design Instrucional de Conteúdo, também apresentaram pontuação média bastante representativas, atingindo 67,14% e 65% da pontuação máxima, respectivamente.

Para investigar a representatividade de cada questão por recurso analisado, foi criado um índice ( $R_{qji}$ ) dado por

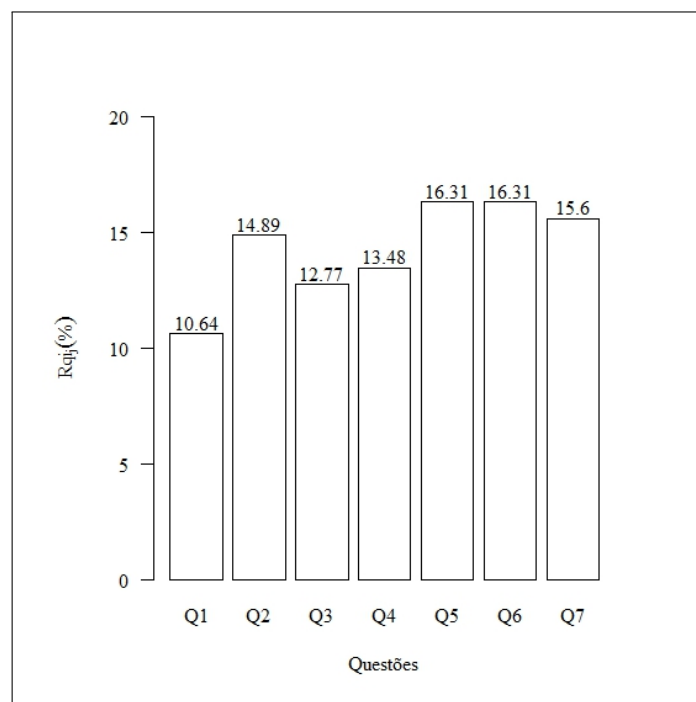
$$R_{qji}(\%) = \frac{T_{qj}}{\sum_{j=1}^n T_{qj}} \times 100, \quad (4.1)$$

em que  $T_{qj}$  representa o total obtido em score por cada questão q. Vale destacar que  $j = 1, \dots, n$ , sendo que n é número máximo de questões do recurso i. Adotamos ainda que  $i=1,2,\dots,d$  e d é o número de recursos.

Os gráficos das Figuras 7, 8 e 9 mostram o índice de representatividade de cada questão por recurso  $R_{qji}$ . A Figura 10 ilustra o índice de representatividade de cada questão ( $R_{qji}$ ) em relação ao grau de satisfação do estudante.

No *Rec 1* de acordo com a Figura 7, a distribuição da representatividade das questões tende à uniformidade, com destaque para as questões Q5 e Q6, que abordam se o AVA possui facilidade na navegação e ferramentas de apoio. Tem-se a constatação estatística de que essas são características relevantes para os discentes que estudam na modalidade a distância em relação à melhoria na eficácia da aprendizagem. Outra questão em destaque é a Q1, sendo que os estudantes evidenciaram que o AVA necessita de mais ferramentas que estimulem o autoaprendizado.

Figura 7 – Representatividade de cada questão no recurso funcionalidade do AVA - *Rec 1*

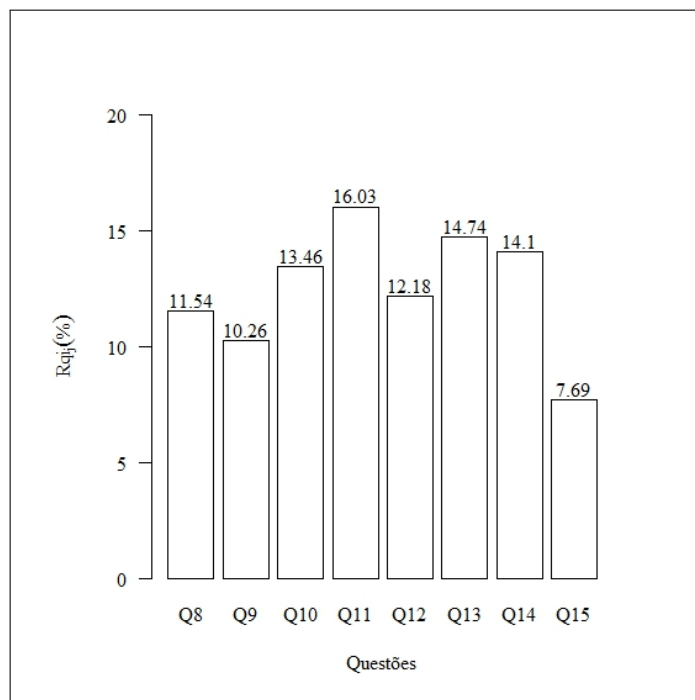


Fonte – a autora

No *Rec 2*, de acordo com a Figura 8, a distribuição da representatividade das questões não é uniforme. A questão Q11 apresenta um peso maior nessa dimensão, destacando o fato da linguagem utilizada nos materiais ser uma característica importante na construção do conteúdo disponibilizado para os estudantes. A questão Q15 destaca o fato das práticas laboratoriais inexistirem na disciplina em estudo.

Figura 8 – Representatividade de cada questão no recurso *design* instrucional do conteúdo - *Rec*

2



Fonte – a autora

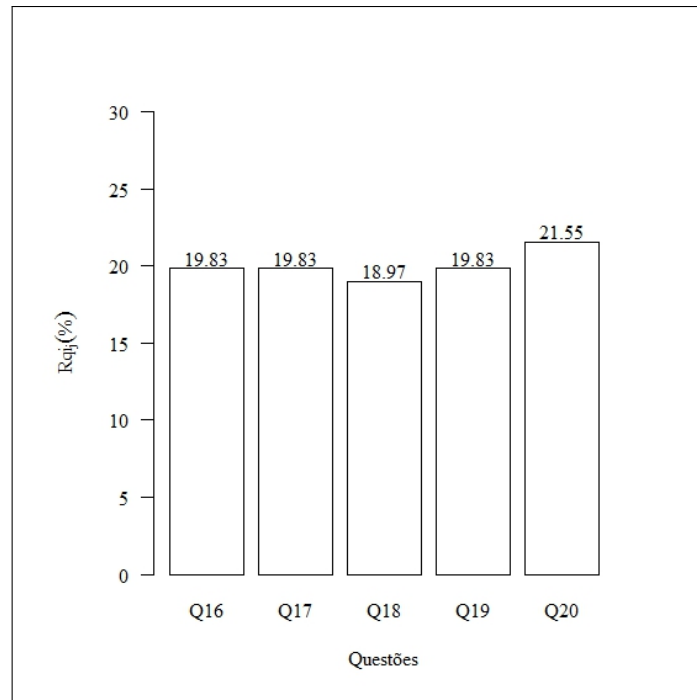
No *Rec 3*, conforme Figura 9, a distribuição da representatividade das questões tende à uniformidade. Destaca-se nesse recurso a questão Q20, que trata da conexão entre os conteúdos abordados no simulador e na disciplina testada e da contribuição da ferramenta na melhoria do aprendizado.

A Figura 10 ilustra o índice de representatividade de cada questão em relação ao grau de satisfação na visão do estudante relacionado aos três recursos e também ao desempenho do professor tutor e à infraestrutura do polo. Nesse caso, a distribuição da representatividade é não uniforme e destaca a informação abordada na questão Q24. Na turma-piloto, os estudantes assinalaram que o professor tutor que acompanhou a disciplina, via AVA e encontros presenciais, demonstrou dinamismo e empenho nas aulas, promoveu interação entre os estudantes e forneceu feedbacks no decorrer da disciplina. Por outro lado, a questão Q31 se destaca como aquela que



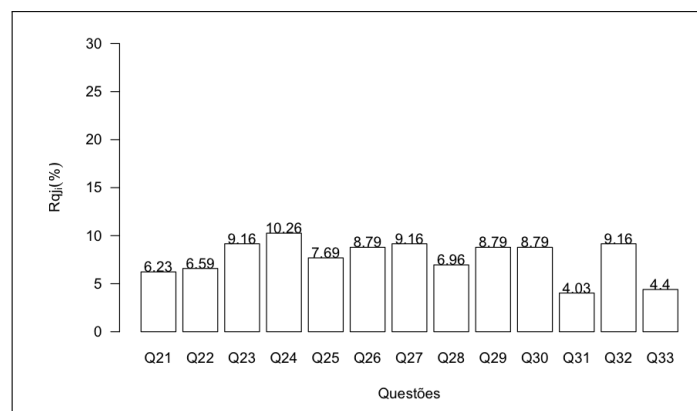
apresenta o menor peso da distribuição. Essa informação se refere à infraestrutura do polo de apoio presencial, ou seja, ao local em que os estudantes se reúnem fisicamente para assistir aos encontros presenciais. Os estudantes responderam que não estão satisfeitos com a infraestrutura do polo e com a velocidade de conexão da internet.

Figura 9 – Representatividade de cada questão no recurso uso do simulador - *Rec 3*



Fonte – a autora

Figura 10 – Representatividade de cada questão em relação ao grau de satisfação do estudante

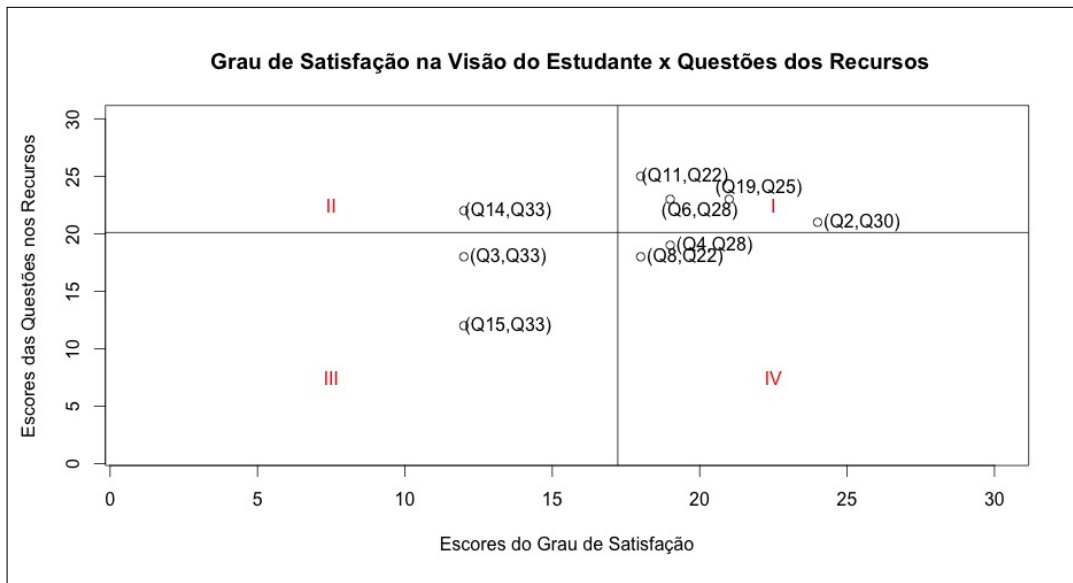


Fonte – a autora

A Figura 11 ilustra uma matriz 2x2 que relaciona algumas questões das Rec 1, Rec 2 e Rec 3 versus o grau de satisfação na visão do estudante para a turma-piloto em análise. O

gráfico está dividido nos quadrantes I, II, III e IV. Os limiares dos quadrantes estão delimitados pela média do total de escores obtidos para cada questão. A matriz representada pela Figura 9 assim como os limiares, estão em consonância com a matriz de importância utilizada por Garver (2003).

Figura 11 – Relação entre as questões nos recursos *versus* grau de satisfação



Fonte – a autora

O quadrante I corresponde a uma região do gráfico na qual os escores das questões dos Rec 1, Rec 2 e Rec 3 encontram-se acima do limiar, indicando condições favoráveis para a eficácia da aprendizagem e um alto índice de satisfação na visão dos estudantes. O quadrante II corresponde a uma região do gráfico na qual os escores das questões dos Rec 1, Rec 2 e Rec 3 encontram-se acima do limiar, indicando condições favoráveis para a eficácia da aprendizagem, porém com um baixo índice de satisfação na visão dos estudantes. Já o quadrante III corresponde a uma região do gráfico na qual os escores das questões dos Rec 1, Rec 2 e Rec 3 encontram-se abaixo do limiar, indicando fragilidades para a eficácia da aprendizagem e um baixo índice de satisfação na visão dos estudantes. Similarmente, o quadrante IV corresponde a uma região do gráfico na qual os escores das questões dos Rec 1, Rec 2 e Rec 3 encontram-se abaixo do limiar, indicando fragilidades para a eficácia da aprendizagem e um alto índice de satisfação na visão dos estudantes.

#### 4.4 Resultados e Discussões

Este capítulo apresentou o processo de desenvolvimento e aplicação de um simulador para ensino e treinamento em operação de sistemas elétricos. Na aplicação privilegiou-se a aferição da eficácia da aprendizagem baseada na investigação de três recursos: funcionalidade do AVA, *design* instrucional do conteúdo e uso do simulador.

Para tanto, o presente capítulo dividiu-se em duas etapas principais. A primeira referiu-se à construção de um simulador 3D em que os equipamentos e os componentes podem ser vistos e manipulados pelo estudante. A segunda etapa foi a aplicação do uso desse simulador em um curso de eletrotécnica na modalidade a distância, resultando em uma análise estatística sobre a eficácia da aprendizagem na perspectiva dos estudantes baseada em três recursos.

A Figura 12 mostra o ambiente do simulador, resultado da primeira etapa da pesquisa. Na imagem, pode-se observar a rede didática em um cenário modelado e três opções de escolha no menu principal: "iniciar simulador", "visualizar os equipamentos", onde o estudante tem acesso aos equipamentos modelados e suas descrições técnicas, e, "sair" do simulador. Clicando em "iniciar simulador", o estudante pode selecionar diferentes atividades relacionadas à operação das redes. Durante a execução dessas atividades, o estudante interage com dois avatares: um representando o electricista em processo de treinamento e o outro o papel de instrutor. O simulador também avalia as ações efetuadas pelo estudante através de feedback constante por meio de mensagens.

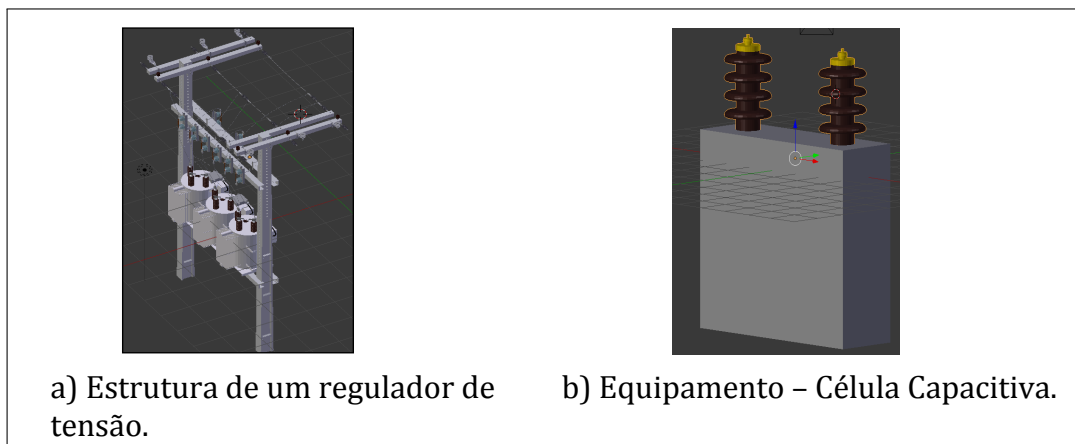
Figura 12 – Ambiente do simulador



Fonte – a autora

O simulador inclui informações adicionais sobre procedimentos de operação e dicas escritas por especialistas, as quais podem ser acessadas por demanda do estudante. Ele possui oito procedimentos de manobras em quatro equipamentos especiais utilizados nas redes de distribuição de energia. No total, há cerca de três minutos de animação, dois mil cento e cinquenta e quatro objetos modelados, incluindo cenários, avatares e estruturas, e oito cenas interativas visando aumentar a segurança e familiaridade do estudante na manipulação e no uso de equipamentos especiais. A Figura 13 ilustra exemplos de estrutura e equipamento modelados.

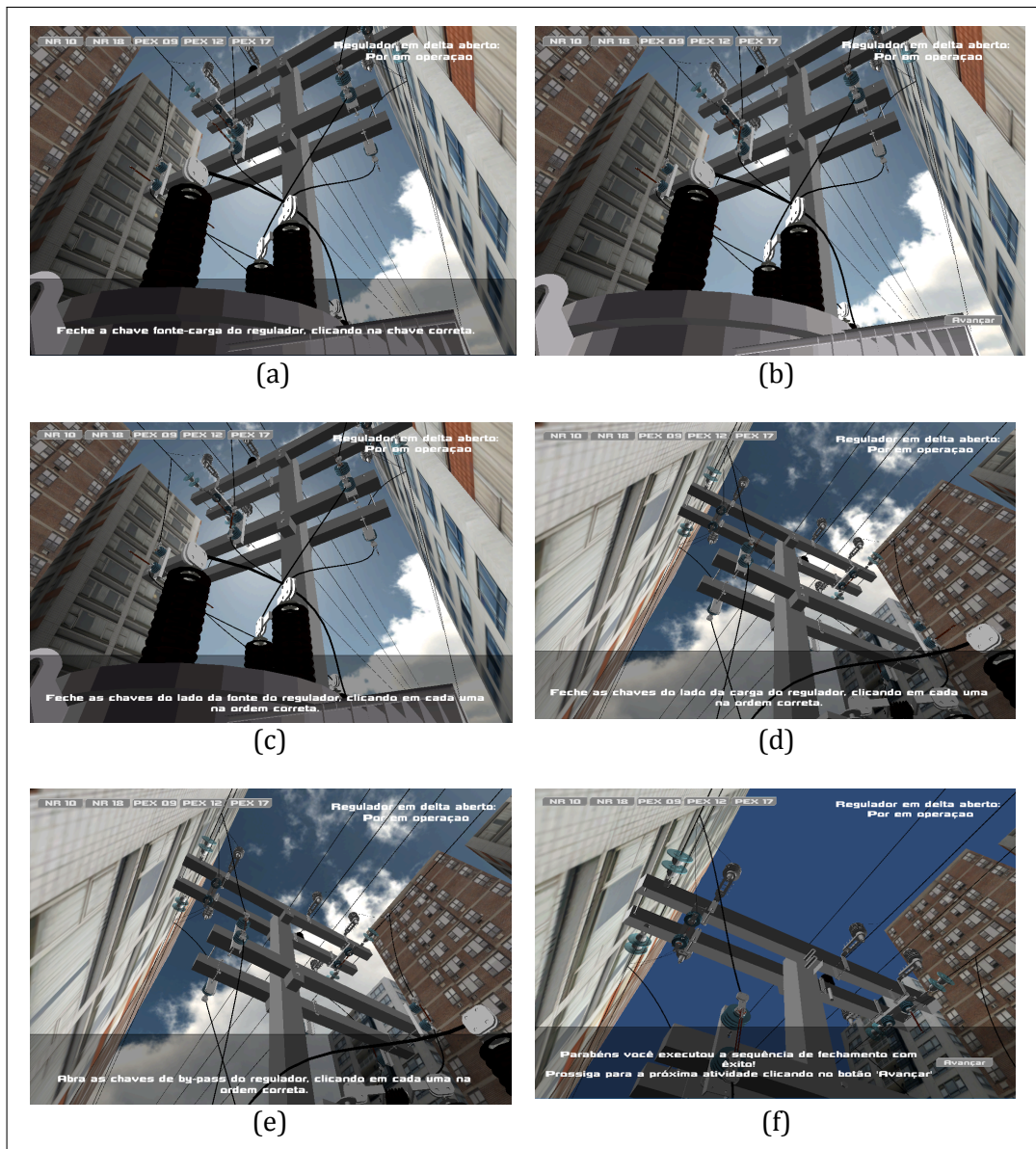
Figura 13 – Ambiente do simulador



Fonte – a autora

A Figura 14 ilustra uma das atividades implementadas no simulador. Trata-se de uma manobra para colocar em operação um regulador delta aberto em uma rede de distribuição. O objetivo principal da atividade consiste em avaliar a sequência de operações efetuadas pelo usuário nas chaves tipo faca em um circuito trifásico com dois reguladores em delta aberto. A Figura 14 (a) mostra o circuito com dois reguladores em delta aberto desligados em um sistema trifásico de distribuição de energia. Nessa cena, o simulador pede ao usuário que siga as instruções apresentadas pelo instrutor, de modo que o electricista realize o procedimento de fechamento das chaves na sequência correta. Na Figura 14 (a), o procedimento começa com o fechamento da chave que conecta as buchas fonte-carga dos reguladores; nas Figuras 14(b) e 14(c), o procedimento continua com o fechamento das chaves que conectam buchas da fonte e da carga, sequencialmente; nas Figuras 14(e) e 14(f) , o procedimento continua com a abertura das chaves de *bypass* para energizar os reguladores, e execução do procedimento de abertura no último interruptor, respectivamente. Finalmente, na última cena, um *feedback* é fornecido ao usuário, informando-o se a sequência de operação foi realizada corretamente.

Figura 14 – Exemplo de atividade proposta no simulador



Fonte – a autora

Na segunda etapa da pesquisa, constatamos, através da análise estatística descritiva, que a investigação dos três recursos educacionais (funcionalidade do AVA, *design* instrucional do conteúdo e uso do simulador) delineados para aferir a eficácia da aprendizagem de um curso ofertado na modalidade a distância na área de engenharia estão coerentes e apresentam características relevantes em cada recurso investigado. Por exemplo, o *Rec3*, uso do simulador, destaca-se positivamente com um percentual de 77,33% na melhoria da aprendizagem, constatando-se, assim, a eficácia do uso de simuladores. No entanto, os dados também mostraram que não é apenas o uso do simulador que promove melhoria da qualidade da aprendizagem, mas o uso da ferramenta combinado com atividades conectadas aos conteúdos da disciplina ou dos cursos

ofertados.

O gráfico da Figura 11 mostra que, no quadrante I, os pares de questões (Q11,Q22), (Q6,Q28), (Q2,Q30) e (Q19,Q25) encontram-se acima dos limiares nos eixos do gráfico, indicando que esses pares de questões apresentaram relevância para eficácia da aprendizagem e grau de satisfação suficiente na visão dos estudantes. Com isso, verificamos que os conteúdos e a linguagem utilizada nos materiais didáticos disponíveis no AVA possuem destacada relevância em relação à eficácia da aprendizagem. Observamos também que os estudantes estão satisfeitos com os materiais da disciplina ofertada.

Verificamos, ainda em relação ao quadrante I, que as ferramentas (*chats*, fóruns, calendários, mensagens etc), as funcionalidades disponíveis no AVA e o uso do simulador, explorando atividades interativas, contribuem fortemente para a eficácia da aprendizagem e são satisfatórias. Os estudantes reconhecem que é importante para a eficácia de sua aprendizagem a velocidade de conexão com a internet e estão satisfeitos com disponibilidade contínua do AVA. Assim, há evidências de que essas questões são pontos fortes na instituição de ensino em que a oferta do curso na modalidade a distância foi analisada, devendo ser considerado e mantido.

Observando o quadrante IV (Figura 11), verificamos que os pares de questões (Q4,Q28) e (Q8,Q22) encontram-se abaixo do limiar no eixo das questões nos recursos e acima do limiar no eixo do grau de satisfação, o que indica que esses pares de questões não se destacaram como relevantes para a eficácia da aprendizagem, porém possuem um grau de satisfação suficiente na visão dos estudantes. Com isso, verificamos que as funções de acompanhamento no AVA em relação ao desempenho do estudante têm pouca importância na eficácia de sua aprendizagem. Por outro lado, eles estão satisfeitos com esse recurso disponível no AVA. Verificamos também que o conteúdo dos materiais disponíveis no AVA não é tão relevante na aprendizagem, porém os estudantes estão satisfeitos com a facilidade de acesso ao material *on-line*. A instituição de ensino ofertante apresenta uma boa linguagem no material, porém deve ser investigado se o grau de dificuldade do conteúdo disponível está adequado para os estudantes, uma vez que o conteúdo apresentado poderia ser considerado "muito fácil" ou "muito difícil", por exemplo.

Visualizando o quadrante II (Figura 11), verificamos que o par de questões (Q14, Q33) encontra-se acima do limiar no eixo das questões nos recursos e abaixo do limiar no eixo do grau de satisfação. Esse achado do quadrante II indica que o par de questões apresenta relevância na eficácia da aprendizagem e, por outro lado, grau de satisfação insuficiente. Com isso a pesquisa reforça que as atividades teóricas propostas na disciplina são importantes, no

entanto, são insatisfatórias na percepção dos estudantes. Assim, a instituição de ensino ofertante deverá concentrar-se na melhoria desse quesito.

Ainda na Figura 11, verificamos no quadrante III que os pares de questões (Q3, Q33) e (Q15, Q33) encontram-se abaixo dos limiares nos eixos das questões nos recursos e grau de satisfação. Essas questões não são portanto relevantes para a eficácia da aprendizagem e que o grau de satisfação é insuficiente na visão do estudante. Isso significa que as ferramentas de discussão em grupos no AVA na disciplina não estão contribuindo para eficácia da aprendizagem e não são suficientes. Quanto às práticas laboratoriais da disciplina, estas foram insuficientes para o aprendizado em relação ao conteúdo técnico abordado, devido à ausência de um ambiente laboratorial físico para a disciplina.

Considerando a questão (Q31) na Figura 10, um dado a ser observado na oferta de cursos a distância que usam como modelo a semipresencialidade é a infraestrutura dos locais que irão receber os cursos. A maioria dos estudantes responderam que estão insatisfeitos com a infraestrutura do polo e com a velocidade de conexão com a internet.

A Figura 10 destaca ainda, através da questão (Q24), a atuação do professor tutor que acompanhou a turma, via AVA e nos encontros presenciais. O docente demonstrou empenho no acompanhamento da turma, dinamismo nas aulas, promoveu interação entre os estudantes e forneceu *feedbacks*.

## 5 AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA MULTIVARIADA DA EFICÁCIA DA APRENDIZAGEM EM CURSOS ON-LINE

Com a finalidade de continuar respondendo a questão de pesquisa, formulada no início deste trabalho, que versa sobre os impactos dos recursos educacionais disponíveis em cursos *on-line* na área de engenharia, como ambiente virtual de aprendizagem (AVA), o *design* instrucional do conteúdo e simulações, neste capítulo investigamos, por intermédio da aferição estatística com técnicas multivariadas, os impactos desses recursos na eficácia da aprendizagem.

Em relação à investigação dessa problemática, apresentamos, no Capítulo 4, uma análise estatística descritiva desses impactos em um curso técnico de eletrotécnica na área de engenharia ofertado *on-line*. Com relação ao curso descrito no capítulo 4, não realizamos a análise desses impactos utilizando técnicas estatísticas multivariadas, devido ao número de respondentes do instrumento aplicado ser insuficiente para tal análise.

Neste novo capítulo de contribuição da tese, selecionamos para estudo um curso de extensão na área de engenharia elétrica: Processamento de Imagens e Reconhecimento de Padrões utilizando a linguagem de programação Python/Numpy – PIRP<sup>1</sup>, ofertado a distância por uma universidade pública brasileira. A escolha se deu porque o curso constitui um extrato da área de conhecimento aplicado da engenharia. Para a coleta de dados, foi utilizado o mesmo instrumento de avaliação adotado no capítulo 4 (Tabelas 3 e 4) com pequenas modificações, para atender a especificidade desse curso de extensão.

Para testar a eficácia da aprendizagem, foram utilizados métodos estatísticos na análise dos dados obtidos com o instrumento, quais sejam: análise de componentes principais (HOTELLING, 1933) e análise por correlação canônica (JOHNSON; WICHEM, 2007). Com a técnica de ACP, constatamos quais variáveis são relevantes no instrumento de avaliação e como elas se comportaram em relação aos recursos - Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA), o Design Instrucional de Conteúdo e Simulações. Com a análise de correlação canônica, observamos quais variáveis são mais importantes para análise e quais são as que contribuem negativa ou positivamente, ou seja, verificamos se existe uma forte ou fraca influência entre os grupos de recursos e as variáveis que impactam na eficácia da aprendizagem.

---

<sup>1</sup> <http://adessowiki.fee.unicamp.br/adesso/wiki/main/cursonumpypirp3e/view/>



## 5.1 Curso Avaliado - Características e Considerações

Retomando a discussão sobre EaD (conferir capítulos 1 e 2) vimos que uma das vantagens da modalidade de ensino a distância (EaD) é a chamada “presença a distância” que torna possível romper barreiras físicas e temporais e oportuniza a democratização da educação superior, já que pode haver oferta de cursos nos locais remotos e longe de grandes centros urbanos. A educação a distância é definida como uma modalidade educacional na qual a mediação didático-pedagógica nos processos de ensino e aprendizagem ocorre com a utilização de meios e de tecnologias de informação e comunicação, com estudantes e professores desenvolvendo atividades educativas em lugares ou tempos diversos.

Retomando o conceito de cursos *MOOCs*, estes são geralmente cursos rápidos ou de extensão, que atraem pessoas espalhadas pelo mundo que estão em busca do saber. Podem ser também definidos como uma nova forma de aprendizagem *on-line* (MARGARYAN *et al.*, 2015 2015). Um exemplo de curso *on-line* gratuito na área de engenharia, no Brasil, é ofertado pela Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP, curso avaliado nessa pesquisa.

O curso *MOOC* de Processamento de Imagens e Reconhecimento de Padrões utilizando Python/Numpy – PIRP da UNICAMP é aberto ao público e utiliza a plataforma virtual de aprendizagem *Adessowiki* (MACHADO *et al.*, 2011; RITTNER *et al.*, 2011; LOTUFO *et al.*, 2009). Essa plataforma é colaborativa, permite programação científica e escrita colaborativa de artigo, se baseia na web 2.0, possibilita interação entre os participantes e permite também a simulação de diversas aplicações na área de engenharia.

Consideramos, nesta pesquisa, que os *MOOCs* utilizam a aprendizagem por *e-learning*, isto é, nesses cursos a comunicação humana é mediada por computador, e, para isso, se utilizam de tecnologias e recursos educacionais com o propósito de oferecer ambientes educacionais *on-line*, usando-se e-mail, *blogs*, simuladores e/ou plataformas de aprendizagem educacionais. Além de plataformas educacionais e uso de simulações, outro recurso educacional que deve ser considerado no ensino de engenharia a distância é o *design* instrucional de conteúdo do saber aplicado, ou seja, é a forma como o conteúdo será disposto para os estudantes. Faz parte do Design Instrucional de Conteúdo, a transposição didática do conteúdo.

A transposição de conteúdos de prática, na área de engenharia, por exemplo, adquire uma importância para além da comunicação e da linguagem, pois o estudante irá também manipular e controlar objetos, equipamentos e instrumentos utilizados em sua prática profissional.

No que diz respeito a métodos de avaliação ou eficácia docente em disciplinas na área de engenharia (NUNES et al., 2015a; NUNES, *et al.*, 2015b; KUMAR; KHADIR, 2013), existem lacunas em relação a métodos e instrumentos que possam aferir a eficácia de aprendizagem na área de engenharia em cursos *e-learning*, os quais auxiliem gestores e coordenadores a identificar de forma sistemática, analítica e quantitativa questões que precisam ser melhoradas, continuadas ou possivelmente eliminadas na oferta de um curso na modalidade a distância.

Considerando as lacunas em relação a métodos e instrumentos que possam aferir a eficácia de aprendizagem na área de engenharia em cursos e-learning, nesse capítulo têm-se como objetivos: a) avaliar o impacto dos seguintes recursos educacionais: Funcionalidades do Ambiente Virtual de Aprendizagem, Design Instrucional do Conteúdo e Uso de Simulador/Simulações para a eficácia da aprendizagem no ensino de engenharia; b) adaptar um instrumento de avaliação para testar a eficácia da aprendizagem em cursos na área de engenharia; c) aplicar um instrumento de avaliação para testar a eficácia da aprendizagem em cursos na área de engenharia; d) analisar estatisticamente a eficácia da aprendizagem e o grau de satisfação de cursos/disciplinas ofertadas na modalidade a distância na área de engenharia elétrica.

### **Curso de processamento de imagem e reconhecimento de padrões - PIRP**

O curso PIRP ofertado pela UNICAMP tem como objetivo principal difundir técnicas de processamento de imagens e reconhecimento de padrões utilizando laboratório de programação Python/Numpy através da plataforma Adessowiki, perfazendo 20 horas. O conteúdo programático do curso foi dividido em 5 semanas, de modo que buscou despertar nos estudantes a aprendizagem de modelo de programação matricial e motivá-los a adquirir maiores conhecimentos na área de processamento de imagens e reconhecimento de padrões.

Assim, na primeira semana, o conteúdo programático foi dividido da seguinte forma: conhecer e aprender a editar páginas no Adessowiki; fazer os primeiros programas em Python/Numpy no Adessowiki; fazer os primeiros programas de processamento de imagens usando o Numpy no Adessowiki; atividades propostas usando Numpy, fatiamento; programar utilizando o quadriculado sobreposto na imagem e rotação em imagens, finalizando com um teste de múltipla escolha.

Na segunda semana, o conteúdo programático se dividiu em: criar imagens sintéticas; atividades propostas de programação: geração imagem rampa, geração imagem X e *crop* de uma imagem; histograma e estatística, finalizando também com um teste de múltipla escolha.

Na terceira semana do curso, foram abordados os seguintes temas: transformações de intensidade, realce e equalização de histograma; inserção de rampa em uma imagem para visualização; realce por nível e janela, finalizando, assim como na primeira e na segunda semanas, com um teste de múltipla escolha.

Na quarta semana do curso, os temas abordados foram: translação periódica; filtros lineares invariantes a translação; aplicação de filtros lineares, operador de Sobel; padrão binário local, finalizando a semana com um teste de múltipla escolha.

Finalmente, na quinta semana, o curso abordou: introdução ao reconhecimento de padrões e classificação de imagens; visualização de dados de treinamento; classificador k-vizinhos mais próximos; análise de componentes principais; redução de dimensionalidade, finalizando também com teste de múltipla escolha.

No decorrer do curso, além dos testes de múltipla escolha, a cada semana, os estudantes também realizavam atividades de programação dentro do ambiente de aprendizagem Adessowiki. Essas atividades de programação serviam também para computar a média de cada aluno. No total do curso, foram sugeridas dez atividades de programação distribuídas nas cinco semanas e em cinco testes de múltiplas escolhas. Para obter a certificação do curso, o estudante tinha que perfazer um rendimento igual ou superior a cinco.

Assim, o curso avaliado nesta pesquisa foi dividido em cinco semanas, sendo que, em cada uma delas havia várias atividades, como: leitura de roteiros e de pequenos tutoriais práticos com códigos exemplos de programas, conteúdo programático disposto na própria plataforma de aprendizagem; exercícios de programação utilizando a plataforma colaborativa Adessowiki; pequenos programas com correção automática e teste múltipla escolha com dez questões. A única atividade não realizada no ambiente de aprendizagem foram os testes de múltipla escolha. As demais atividades elencadas foram realizadas no Adessowiki, pois este é um ambiente colaborativo que permite compartilhar experiências durante a aprendizagem.

O Adessowiki também fornece aos estudantes uma página de estatística e acompanhamento do curso, na qual o discente pode acompanhar seu desempenho, suas notas, seus comentários realizados dentro da plataforma, dentre outras atividades.

Da forma como o curso PIRP é ofertado, é possível perceber fortes traços da teoria behaviorista, tais como objetivos bem delineados, conteúdos apresentados aos estudantes passo-a-passo e *feedbacks* constantes. Por outro lado, percebemos também alguns traços de influência cognitivista, na medida em que os alunos, estavam integrados em uma comunidade de prática,

com interesses comuns, aprendendo com seus próprios pares, e o professor tutor apresenta-se, no curso, como um mediador e não como o detentor do saber. Outro traço do cognitivismo são as atividades de simulação sugeridas no decorrer do curso baseadas em problemas (conferir capítulo 2).

## **5.2 Instrumento de Avaliação**

Os dados analisados nesta investigação referem-se à 3ª edição do curso MOOC - PIRP ofertado pela UNICAMP. Participaram dessa pesquisa 56 estudantes, os quais responderam um instrumento de avaliação, adaptado de Ho e Dzung (2010), também utilizado no capítulo 4 para a análise descritiva, com pequenas adaptações para adequarmos à análise de um curso *MOOC*. Nessa análise, por exemplo, não fazia sentido propor perguntas em relação à infraestrutura do polo de apoio presencial nem sobre o material impresso, já que nesse curso de extensão os estudantes não frequentam polo, nem recebem material impresso, por exemplo.

A aplicação do instrumento tem como um dos objetivos investigar a eficácia da aprendizagem baseada nos três recursos educacionais já citados. A Tabela 8 ilustra as questões referentes a cada recurso, e a Tabela 9 apresenta questões relativas ao grau de satisfação do estudante.

Assim como no capítulo 4, para cada questão do instrumento, há respostas do tipo item de Likert, variando entre "discordo completamente"(0 escore), "discordo um pouco"(1 escore), "concordo um pouco"(2 escores) e "concordo plenamente"(3 escores), eliminando, assim, possíveis respostas neutras do estudo.

Tabela 8 – Questões relacionadas aos recursos 1, 2 e 3 presentes no instrumento de avaliação da eficácia da aprendizagem - curso *MOOC*

Recursos	Questões
<b>1) Funcionalidade do Ambiente Virtual de Aprendizagem</b>	Q1) O Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) apresenta ferramentas que estimulam o meu autoaprendizado.
	Q2) A qualidade/velocidade da conexão de rede à internet influencia a eficácia da minha aprendizagem.
	Q3) O AVA possui ferramentas para discussão em grupos que favorecem a minha eficácia da aprendizagem.
	Q4) O AVA possui funções de acompanhamento do meu desempenho e isso influencia na eficácia da minha aprendizagem.
	Q5) O AVA oferece facilidade na navegação e isso influencia na minha eficácia de aprendizagem.
	Q6) As ferramentas disponíveis no AVA, como calendário, agenda, caixa de mensagens, chats, fóruns, entre outras ferramentas influenciam a eficácia da minha aprendizagem.
	Q7) A interface do sistema influencia na minha eficácia de aprendizagem.
<b>2) Design Instrucional do Conteúdo</b>	Q8) O conteúdo dos materiais didáticos disponíveis no AVA favorece a eficácia do meu aprendizado.
	Q9) Materiais didáticos em multimídia, como videoaula, <i>links</i> , áudio, entre outros recursos, favorecem a minha eficácia de aprendizagem.
	Q10) A sequência da disposição do conteúdo didático nos materiais do curso influencia a eficácia da minha aprendizagem.
	Q11) A linguagem utilizada nos conteúdos dos materiais didáticos influencia a eficácia da minha aprendizagem.
	Q12) O período de duração do curso favorece a eficácia da minha aprendizagem.
	Q13) O uso de estudos de caso em diversas situações reais presentes no conteúdo da disciplina facilita minha eficácia na aprendizagem.
	Q14) As atividades propostas no curso auxiliam na minha eficácia da aprendizagem. Q15) As práticas laboratoriais ou profissionais do curso estão coerentes com o conteúdo ensinado e favorecem a eficácia da minha aprendizagem.
<b>3) Uso do Simulador/Simulações</b>	Q16) O conteúdo abordado na simulação contribuiu para a eficácia da minha aprendizagem.
	Q17) Estou satisfeito porque sei que as atividades abordadas na simulação irão contribuir para meu desempenho na vida profissional.
	Q18) O uso do simulador foi eficiente para a minha aprendizagem em comparação com outras atividades do curso.

*Continua na próxima página*

Tabela 8 – Continuação da página anterior

Recursos	Questões
	Q19) Ao passar pelas atividades através das simulações, senti confiança de que estava aprendendo e contribuindo para eficácia da minha aprendizagem.
	Q20) O conteúdo abordado nas simulações/atividades faz parte do curso de extensão.
	Q21) O conteúdo abordado nas simulações/atividades me ajudou a entender melhor o assunto explorado.

Fonte – Adaptado de Ho e Dzung (2010)

Tabela 9 – Questões do instrumento relacionadas ao grau de satisfação dos estudantes - curso *MOOC*

<b>Grau de Satisfação</b>	Q22) Comparando com a modalidade de educação presencial, a modalidade de educação a distância favorece minha eficácia de aprendizagem.
	Q23) Estou satisfeito com o material <i>on- line</i> disponível no curso ofertado.
	Q24) Estou satisfeito com a atuação do(s) professor(es) no curso ofertado.
	Q25) O(s) professor(es) demonstrou(aram) empenho no acompanhamento da turma, dinamismo nas aulas, promoveu(ram) a interação entre os estudantes e forneceu(ram) <i>feedback</i> .
	Q26) Estou satisfeito com as atividades interativas desenvolvidas ao longo do curso.
	Q27) Estou satisfeito porque fui estimulado a participar das discussões dos conteúdos.
	Q28) Estou satisfeito porque fui encorajado a fazer perguntas, exprimir as minhas ideias e questionar o professor.
	Q29) Estou satisfeito com o AVA (incluindo a qualidade/velocidade da rede).
	Q30) Estou satisfeito porque posso fazer minhas atividades em qualquer lugar, a qualquer hora, ou seja, tenho flexibilidade de tempo e espaço estudando na modalidade a distância. Esse aspecto é positivo e favorece a eficácia da minha aprendizagem.
	Q31) Estou satisfeito porque as práticas realizadas no decorrer do curso são suficientes para que eu possa exercer minha profissão adequadamente.

Fonte – Adaptado de Ho e Dzung (2010)

### 5.3 Métodos para Análise de Dados

Nesta análise de dados, assim como no capítulo 4, antes de sua aplicação, o instrumento foi pré-testado pela equipe multidisciplinar detalhada no capítulo anterior na seção (4.3) no item análise de dados. Para cumprir com os objetivos delineados no início do capítulo, tem-se

teste para validação do modelo ACP; aplicação da ACP; aplicação da ACC e apresentação da análise e discussão dos dados analisados.

### 5.3.1 *Teste para validação do modelo ACP*

Faz parte da validação do modelo ACP observar a matriz correspondente ao cálculo da matriz de correlação para a verificação do grau de associação entre as variáveis. O objetivo é ter alguns componentes que representem grande parte da variabilidade dos dados (MOREIRA, 2007).

Observando a Figura 15, tem-se, por exemplo, a coluna que corresponde à variável 2, ou seja, o item Q2, apresenta uma baixa correlação (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JR, 2009; COHEN, 1988),  $|r| < 0,2$ . Esse item versa sobre a qualidade da velocidade de conexão à internet e se esta influencia na eficácia da aprendizagem. Uma inferência que pode ser feita é que, na instituição aonde está sendo realizado o curso avaliado, a velocidade da internet não é considerada um problema pelos estudantes. Os itens Q20 e Q21 apresentam elevada correlação (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JR, 2009; COHEN, 1988),  $|r|=0,77$ . Se observarmos no instrumento, confirma-se que esses itens são bem correlacionados e relevantes, pois apresentam questões relacionadas ao uso de simulações no curso investigado e ao efeito que as atividades simuladas impactam na eficácia da aprendizagem.

Em seguida, são observadas as análises de consistência interna realizadas por meio do coeficiente Alfa de Cronbach (CRONBACH, 1951) e da Confiabilidade Composta (RAYKOV, 1997).

O valor do Alfa de Cronbach (CRONBACH, 1951), como visto no capítulo 3, é uma estimativa da confiabilidade dos dados obtidos a partir de um dado instrumento através da medida de sua consistência interna (NUNES, *et al.*, 2015a; CRONBACH, 1951, MAROCO; GARCIA-MARQUES, 2006). De acordo com Cronbach (1951) e retomando a equação 3.36, esta estimativa de confiabilidade é calculada por

$$\alpha = \frac{K}{K-1} \left( 1 - \frac{\sum \sigma_y^2}{\sum \sigma_x^2} \right),$$

em que  $K$  é o número de itens do questionário,  $\sigma_x^2$  é a variância para o total de respondentes e  $\sigma_y^2$  é a variância de cada item do questionário.

Figura 15 – Matriz de correlação de Pearson extraída dos dados dos respondentes do instrumento de avaliação com os 21 itens

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20	Q21
Q1	1,00																				
Q2	-0,02	1,00																			
Q3	0,44	-0,06	1,00																		
Q4	0,32	0,24	0,40	1,00																	
Q5	0,52	0,27	0,44	0,45	1,00																
Q6	0,26	-0,04	0,40	0,37	0,36	1,00															
Q7	0,17	0,08	0,35	0,39	0,55	0,43	1,00														
Q8	0,57	0,12	0,32	0,38	0,54	0,24	0,45	1,00													
Q9	0,16	0,13	0,15	0,22	0,22	0,47	0,10	0,39	1,00												
Q10	0,36	0,10	0,17	0,43	0,24	0,25	0,08	0,49	0,49	1,00											
Q11	0,48	-0,08	0,11	0,31	0,18	0,29	0,15	0,54	0,39	0,49	1,00										
Q12	0,29	0,15	0,40	0,31	0,13	-0,09	0,18	0,46	0,24	0,35	0,31	1,00									
Q13	0,37	0,13	0,32	0,46	0,26	0,29	0,18	0,54	0,49	0,49	0,42	0,45	1,00								
Q14	0,45	0,13	0,13	0,28	0,28	0,05	0,30	0,60	0,21	0,31	0,55	0,34	0,44	1,00							
Q15	0,41	0,13	0,32	0,46	0,54	0,23	0,33	0,62	0,37	0,30	0,37	0,36	0,47	0,62	1,00						
Q16	0,51	0,02	0,33	0,35	0,38	0,28	0,24	0,49	0,23	0,50	0,54	0,34	0,27	0,39	0,37	1,00					
Q17	0,36	0,16	0,40	0,44	0,41	0,23	0,30	0,53	0,43	0,38	0,31	0,36	0,37	0,35	0,45	0,46	1,00				
Q18	0,39	0,17	0,22	0,43	0,29	0,07	0,15	0,53	0,29	0,51	0,51	0,48	0,42	0,42	0,36	0,69	0,56	1,00			
Q19	0,42	0,11	0,27	0,29	0,40	0,10	0,33	0,56	0,13	0,37	0,39	0,48	0,36	0,44	0,45	0,65	0,36	0,66	1,00		
Q20	0,41	0,02	0,20	0,35	0,23	0,05	0,21	0,58	0,11	0,37	0,44	0,37	0,24	0,56	0,40	0,38	0,48	0,44	0,57	1,00	
Q21	0,46	0,02	0,25	0,23	0,28	0,09	0,36	0,58	0,11	0,37	0,50	0,47	0,31	0,56	0,40	0,45	0,43	0,44	0,68	0,77	1,00

Fonte – a autora

O cálculo da Confiabilidade Composta (CC) (HAIR, 2009; RAYKOV, 1997), assim como foi visto no capítulo 3, é realizado a partir do quadrado das somas de cargas fatoriais padronizadas ( $\lambda_i$ ) para cada item  $i$  do questionário e seus respectivos erros de mensuração ( $\varepsilon_i$ ). Retomando a equação 3.37, o cálculo de CC é dado por

$$CC = \frac{(\sum \lambda_i)^2}{(\sum \lambda_i)^2 + (\sum \varepsilon_i)}$$

em que  $\varepsilon_i = 1 - \lambda_i^2$ . Valentini e Damasio (2016) e Sbicigo *et al.*(2010) ressaltam que a CC é um indicador de confiabilidade mais robusto dos dados se comparado ao Alfa de Cronbach.

A seguir, verifica-se a adequação da amostragem dos dados. Uma amostra muito grande pode implicar custos desnecessários, enquanto uma amostra pequena pode tornar a pesquisa inconclusiva (BOLFARINE; BUSSAB, 2005). Essa adequação pode diferir em relação ao tamanho absoluto da amostra ou em um múltiplo do número de variáveis da amostra. Em termos gerais, recomenda-se um mínimo de 150 observações ou de 5 a 10 observações por variável, como tamanho mínimo da amostra (IBM, 2017). Existem alguns métodos para detectar a adequação da amostra: (1) a medida de amostragem Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) (KAISER, 1974) para o conjunto global de dados e (2) a medida de KMO para cada variável individual (IBM, 2017). Nunes *et al.*, 2015a, IBM (2017), Olawale e Garwe (2010) e Li (2008) utilizam



métodos KMO para verificar a adequabilidade dos dados à técnica ACP. De acordo com Moreira (2007) e Aaker *et al.* (2001), se o resultado obtido pelo teste KMO tiver valores acima de 0,6, é recomendável o uso da ACP.

Na etapa seguinte realiza-se o teste da esfericidade de Bartlett (BARTLETT, 1954), que verifica a hipótese da matriz das correlações ser a matriz identidade, conforme mostrado no capítulo 3. A Tabela 10 mostra os resultados obtidos com a aplicação dos testes mencionados.

Tabela 10 – Testes aplicados ao modelo ACP

Testes	Resultados
Alfa de Cronbach	0,90
Confiabilidade Composta	0,94
KMO	0,79
Esfericidade de Bartlett	$2,2e^{-16}$

Fonte – a autora

Observando a Tabela 10, os parâmetros Alfa de Cronbach e Confiabilidade Composta foram de 0,90 e 0,94, respectivamente. Esses parâmetros podem variar em um intervalo de 0 a 1. A regra para qualquer estimativa de confiabilidade é que valores maiores ou iguais a 0,7, sugerem um bom valor (HAIR *et al.*, 2009). Quanto mais próximo de 1, melhor é a consistência interna dos dados em análise. Assim, o resultado desses testes indicam que os dados obtidos através do instrumento apresentam um alto grau de consistência. O valor de 0.79 do teste KMO indica a adequação da amostra ao uso do modelo ACP, conforme Moreira (2007) e Aaker *et al.* (2001). O resultado obtido com o teste de Bartlett foi  $2,2e^{-16}$ . Esse valor é inferior ao nível de significância adotado neste estudo que é de 0,05, indicando assim que é rejeitada a hipótese da matriz de correlação ser igual à matriz identidade (NUNES *et al.*, 2015a; MOREIRA, 2007) ou seja, existem correlações entre as variáveis que não devem ser desprezadas.

### 5.3.2 Aplicação da análise de componentes principais

A Tabela 11 apresenta os cinco primeiros autovalores da matriz de correlação, com as respectivas porcentagens de variação total (VT) explicada. A seleção do número de componentes principais a serem consideradas na análise foi baseada no critério de Kaiser (KAISER, 1958), o qual sugere que as componentes a serem mantidas no sistema sejam aquelas relacionadas aos autovalores acima de 1, ou seja, mantêm-se no sistema as combinações lineares que conseguem explicar pelo menos a quantidade de variância de uma variável original padronizada (MINGOTI,

2007). Corroborando com esse resultado, pode-se observar na Tabela 11 que os 5 primeiros componentes possuem autovalores maiores que 1, as porcentagens de variância total explicadas das 5 componentes são respectivamente, 39,00%, 9,30%, 7,44%, 6,30% e 5,32%, totalizando 67,45%. Portanto, as informações mais relevantes dos dados amostrais originais estão contidas nessas 5 componentes principais, uma vez que as demais componentes contribuem muito pouco para a variância total original.

Em seguida, foi feita uma análise gráfica das relações entre as 5 componentes. A partir dessa análise, observou-se que a relação entre as componentes 1 e 2 evidenciaram uma melhor distribuição das variáveis em três grupos distintos. Isto se deve ao valor da porcentagem acumulada das variâncias totais explicadas dessas duas componentes, que juntas totalizam 48,39%, ver Tabela 11.

Tabela 11 – Autovalores da matriz de correlação da Figura 15

Ordem (i)	Autovalores ( $\lambda_i$ )	Porcentagem da VT explicada (%)	Porcentagem acumulada da VT explicada (%)
1	8,19	39,00	39,00
2	1,97	9,30	48,39
3	1,56	7,44	55,83
4	1,32	6,30	62,13
5	1,12	5,32	67,45

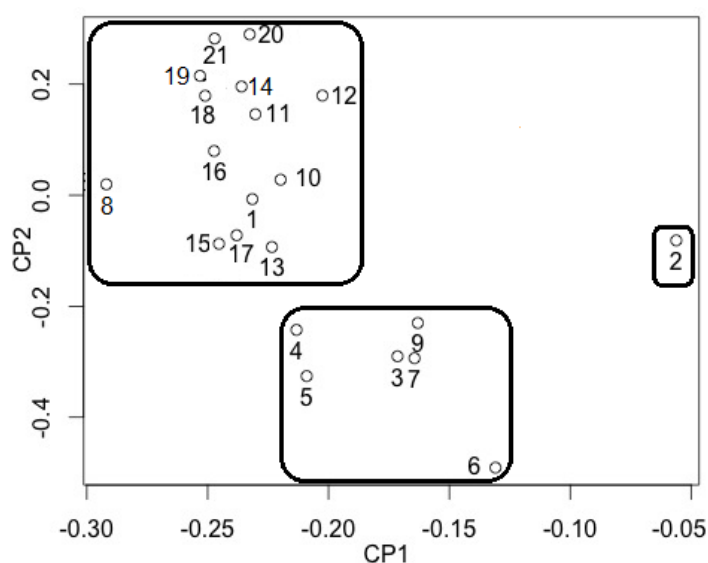
Fonte – a autora

A Figura 16 mostra os três agrupamentos obtidos da análise ACP, a partir das duas componentes mais relevantes, CP1 e CP2.

A Tabela 12 apresenta a distribuição dos itens do instrumento em grupos, segundo os especialistas da área consultados na fase de pré-teste. A análise ACP e agrupamento resultaram na formação de três grupos, conforme ilustrado no gráfico da Figura 16, sendo que um desses grupos pode ser considerado um *outlier* (ver Tabela 13).

Comparando as Tabelas 12 e 13, verificamos que a maioria dos itens do grupo I, Funcionalidade do AVA, indicados pelos especialistas permaneceram nesse agrupamento após a análise estatística através da análise ACP. No grupo II, os itens indicados pelos especialistas referentes ao Design de Conteúdo permaneceram todos no grupo após a análise estatística, com exceção do item 9. No entanto, os itens relacionados ao recurso Uso de Simulador/Simulações, que pertenciam ao grupo III, segundo a análise dos especialistas, foram todos agrupados no grupo II, após a análise ACP. Esse fato se deve às perguntas que foram utilizadas no instrumento

Figura 16 – Relação CP1 e CP2



Fonte – a autora

mostrado na Tabela 8. Os itens do instrumento do grupo Uso de Simulador/Simulações apresentavam ênfases relacionadas ao conteúdo, já que o foco da pesquisa é analisar a eficácia da aprendizagem através do treinamento. Portanto, a análise estatística está coerente, e renomeamos o grupo II para Design Instrucional de Conteúdo e Simulações.

Tabela 12 – Agrupamento com análise de especialistas

Grupo	Itens	Determinação
I	1,2,3,4,5,6 e 7	Funcionalidade do AVA
II	8,9,10,11,12,13,14 e 15	Design Instrucional do Conteúdo
III	16,17,18,19,20 e 21	Uso de Simulador/Simulações

Fonte – a autora

### 5.3.3 Aplicação da análise de correlação canônica

Para a aplicação da análise de correlação canônica, classificamos as variáveis em dois conjuntos, em dependentes e independentes. Considerou-se como variáveis independentes os itens de Q1 a Q21 do instrumento de avaliação que versam sobre a Funcionalidade do Ambiente Virtual, Design Instrucional de Conteúdo e Simulações. As variáveis dependentes

Tabela 13 – Análise de agrupamento após análise estatística

Grupo	Itens	Determinação
I	3,4,5,6,7 e 9	Funcionalidade do AVA
II	8 1,8,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20 e 21	Design Instrucional do Conteúdo e Simulações
III	2	-

Fonte – a autora

foram definidas, como os itens Q23, Q26, Q29 e Q31 do instrumento de avaliação e versam sobre o grau de satisfação dos quesitos relacionados ao material disponibilizado *on-line*, atividades interativas disponível no curso, qualidade e velocidade do AVA e práticas realizadas no decorrer do curso.

Os objetivos da ACC foram determinar a magnitude das relações entre os dois conjuntos, explicar a natureza de quaisquer relações existentes entre os conjuntos de variáveis dependentes e independentes e inferir a importância das variáveis independentes em conjunto com as variáveis dependentes para analisar a influência na eficácia da aprendizagem.

Para cada variável foram coletadas 56 amostras, sendo estas obtidas mediante a aplicação do instrumento de avaliação proposto no curso de extensão analisado.

Para atingir os objetivos da análise, o primeiro passo foi obter as quatro funções canônicas para cada grupo das variáveis independentes, porque o conjunto de variáveis dependentes contém apenas quatro variáveis. O primeiro grupo de variáveis independentes é composto dos itens relacionadas às Funcionalidades do AVA. O segundo grupo de variáveis independentes refere-se ao Design Instrucional de Conteúdo e Simulações, como mostra a Tabela 13.

A etapa seguinte consistiu em determinar o número de funções canônicas para interpretação e análise do resultado. Para tanto, utilizou-se o critério do nível de significância estatística da função (BARTLETT, 1941). Por meio do nível de significância estatística, observou-se a correlação canônica de cada uma das quatro funções para cada grupo de variáveis independentes, como exibem as Tabelas 14 e 15.

Testes multivariados foram aplicados nas funções canônicas, para o grupo I e para o grupo II em relação ao grau de satisfação. A estatística de testes executados foi o lambda de Wilks, o critério de Pillai, o traço de Hotelling e a maior raiz característica de Roy, disponíveis no software R<sup>2</sup>. Esses testes indicaram que as funções canônicas tomadas estatisticamente são

<sup>2</sup> <http://www.R-project.org>

significantes no nível 0,05.

Tabela 14 – ACC que relaciona funcionalidades do AVA (grupo I) com grau de satisfação

	Função Canônica			
	1	2	3	4
Correlação Canônica	0,85	0,58	0,51	0,14

Fonte – a autora

Tabela 15 – ACC que relaciona *design* instrucional de conteúdo e simulações (grupo II) com grau de satisfação

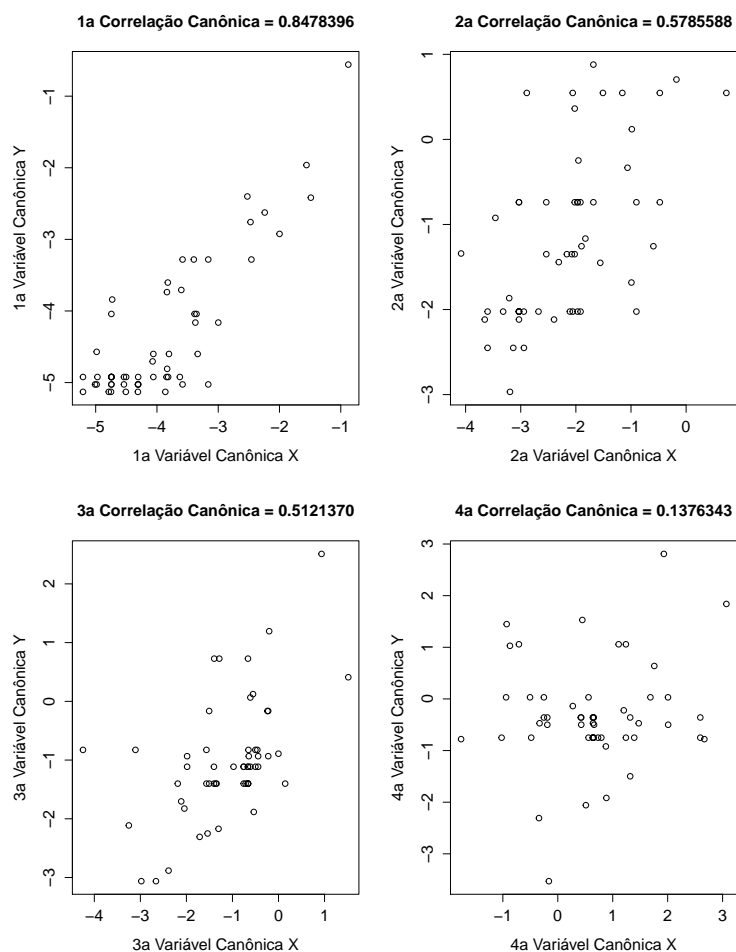
	Função Canônica			
	1	2	3	4
Correlação Canônica	0,91	0,79	0,61	0,56

Fonte – a autora

Nesses casos, ambas as correlações canônicas são estatisticamente significantes, com exceção daquela que corresponde à função canônica 4 da Tabela 14, pois, por meio do teste F aproximado, os valores p foram menores que o nível de significância adotado.

Os testes e as Tabelas 14 e 15 confirmam o que mostram a Figura 17 e a Figura 18, respectivamente. Quanto maior o índice de correlação canônica, maior será a tendência à linearidade das variáveis.

Figura 17 – Gráficos dos pares canônicos referentes ao Grupo I com Grau de Satisfação.



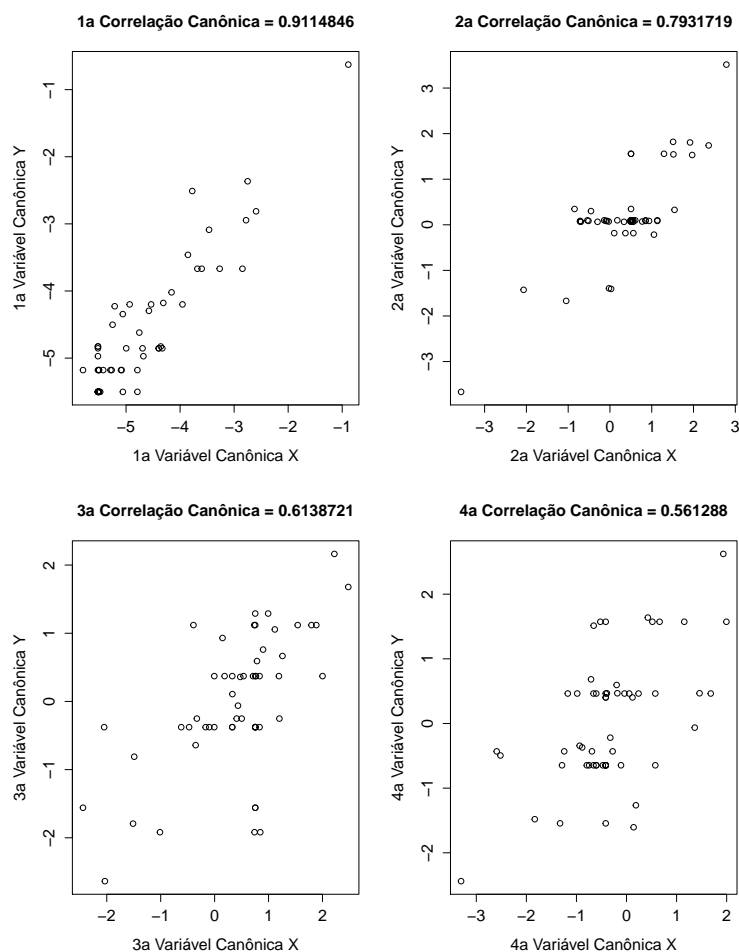
Fonte – a autora

### 5.3.4 Resultados e Discussões

Este capítulo apresentou uma investigação de questões complexas de aprendizagem associadas à tarefa de formar engenheiros. Na aplicação privilegiou-se a aferição da eficácia da aprendizagem baseada em recursos educacionais disponíveis em cursos *on-line* na área de engenharia, quais sejam, Ambiente Virtual de Aprendizagem, o Design de Conteúdo e Simulações.

Para tanto, o presente capítulo utilizou um instrumento de avaliação adaptado de Ho e Dzeng (2010), o qual foi aplicado em um curso MOOC de Reconhecimento de Padrões utilizando Python/Numpy. Após essa etapa de investigação, adaptação e aplicação do instrumento, para testar a eficácia da aprendizagem, foram utilizados métodos estatísticos multivariados na análise do instrumento, quais sejam: análise de componentes principais, análise de confiabilidade e análise de correlação canônica. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o

Figura 18 – Gráficos dos pares canônicos referentes ao Grupo II com Grau de Satisfação.



Fonte – a autora

software R.

Na etapa de testes para validação do modelo ACP, constatamos estatisticamente que a investigação dos três recursos educacionais (funcionalidade do AVA, *Design* instrucional do conteúdo e Uso do simulador/simulações) delineados para aferir a eficácia da aprendizagem de um curso ofertado na modalidade a distância na área de engenharia são coerentes. No decorrer da análise, no entanto, observamos, através da análise dos itens, que os recursos se dividiram em praticamente dois grupos. Denominamos o grupo 1 de Funcionalidade do AVA e o grupo 2 de Design Instrucional do Conteúdo e Simulações. A consistência interna obtida após a ACP para o grupo I foi 0,77 ( de Cronbach) e 0,88 (Confiabilidade Composta). Para o Grupo II, os valores encontrados foram 0,91 ( de Cronbach) e 0,83 (Confiabilidade Composta), o que indica a consistência dos grupos para esta análise.

Em relação à migração de alguns itens, tem-se que o item 9, que pertencia ao

Grupo II da Tabela 12, Design Instrucional do Conteúdo, migrou para o Grupo I da Tabela 13, Funcionalidade do AVA, pode-se inferir que o estudante interpretou o conjunto "material didático em multimídia"(videoaula, links, áudio, entre outros) como sendo constitutivos do próprio AVA, ou seja, ao pensar em AVA o estudante associa *links*, videoaula, ou outros materiais multimídia.

Ainda em relação à migração, tem-se que o item 1 que pertencia ao Grupo I da Tabela 12, Funcionalidade do AVA, migrou para o Grupo II da Tabela 13, Design Instrucional do Conteúdo e Simulações. De acordo com a definição de Design Instrucional, definida como uma experiência de ensino que pode tornar a aprendizagem eficiente, eficaz e atraente (MERRILL *et al.*, 1996) , é possível afirmar que as palavras ferramenta e autoaprendizado presentes no item 1, foram relacionadas pelos estudantes como se a configuração do AVA fizesse parte do Design Instrucional do Conteúdo, ou seja, como se a configuração do AVA promovesse, de forma eficiente e eficaz, a aprendizagem.

Na etapa de aplicação da análise de correlação canônica procurou-se testar a eficácia da aprendizagem observando o nível de associação entre variáveis contidas em dois grupos diferentes de variáveis independentes, Grupo I e Grupo II (observar Tabela 14 e Tabela 15, respectivamente) com variáveis que pertenciam a um grupo chamado de grau de satisfação (variáveis dependentes), composto pelos itens Q23, Q26, Q29 e Q31 do instrumento de avaliação. Ao invés de fazer a correlação dois a dois das variáveis dos grupos de variáveis independentes e dependentes, a correlação canônica faz esse processo de forma conjunta e relaciona todas ao mesmo tempo, buscando identificar o par de combinações lineares que gera a maior associação possível.

Observamos, pelos gráficos das Figuras 17 e 18, que os pares canônicos referentes à primeira função canônica são fortemente correlacionados implicando na influência desses recursos educacionais na eficácia da aprendizagem.

Quando calculadas a carga de correlação cruzada da primeira função para auxiliar na interpretação das variáveis estatísticas canônicas, observamos que na ACC da Funcionalidade do AVA com grau de satisfação, as variáveis independentes, Q5 e Q3 fornecem contribuições importantes para o resultado da alta correlação da Funcionalidade do AVA em relação à eficácia da aprendizagem. Essas questões sinalizam que o AVA, nesse caso o Adessowiki, possui ferramentas para discussão em grupos e facilidade na navegação, e estas características favorecem de forma eficaz a aprendizagem. De fato, o Adessowiki é um ambiente bastante interativo que permite visualizar com facilidade a contribuição dos pares inseridos no curso. Cada participante do



curso tem a possibilidade de visualizar a resolução dos exercícios de programação de todos os outros participantes. Além disso, a interação é feita no próprio ambiente de trabalho, o que pode facilitar a comunicação, uma vez que não é preciso entrar em um fórum específico para trocar experiências.

Observando o cálculo da carga de correlação cruzada da primeira função canônica do Design Instrucional do Conteúdo e Simulações com grau de satisfação, constatamos que as variáveis independentes, Q8, Q17, Q1, Q19 e Q15 fornecem respectivamente contribuições importantes para o resultado da alta correlação em relação à eficácia da aprendizagem. Essas questões versam sobre o material didático disponível no AVA, atividades abordadas nas simulações, ferramentas do próprio AVA, confiança em executar atividades profissionais a término do curso e práticas laboratoriais, respectivamente. Esses fatores foram elencados como importantes e foram comprovados estatisticamente através da técnica multivariada ACC.

## 6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho localiza-se na área de ensino de engenharia, uma área instigante e que merece atenção por parte de instituições educacionais, órgãos regulamentadores e governamentais, empresas e organizações que se preocupam com formação, treinamento ou empregabilidade de engenheiros no país. Outra área que vem ganhando espaço ao longo dos anos e também está presente nesta tese é a educação a distância. O ensino de engenharia nessa modalidade é uma realidade crescente no país. Atualmente, há vários cursos de engenharia sendo ofertados nessa modalidade, e, da mesma forma, esta é uma preocupação também de órgãos regulamentadores e instituições de ensino: pensar e avaliar a oferta de cursos nessa modalidade para que se tenha cursos no país com qualidade, no que diz respeito ao ensino e à aprendizagem.

A investigação, assim, teve como ponto de partida a seguinte pergunta de pesquisa: os recursos educacionais disponíveis em cursos *on-line* na área de engenharia, como ambiente virtual de aprendizagem (AVA), o *design* instrucional de Conteúdo e simulações impactam a eficácia de aprendizagem? Considerando essa questão, traçamos, como objetivos da investigação, a) desenvolver um instrumento de avaliação para testar a eficácia da aprendizagem em cursos na área de engenharia; b) aplicar um instrumento de avaliação para testar a eficácia da aprendizagem em cursos na área de engenharia; c) avaliar o impacto dos seguintes recursos educacionais: design instrucional do conteúdo, funcionalidades dos ambientes virtuais de aprendizagem e uso de simuladores para a eficácia da aprendizagem no ensino de engenharia; d) analisar estatisticamente a eficácia da aprendizagem e o grau de satisfação dos alunos em relação a cursos/disciplinas ofertadas na modalidade a distância na área de engenharia elétrica.

Para atingir os objetivos da pesquisa, metodologicamente, adotamos os seguintes procedimentos: a) desenvolvemos e implementamos um simulador interativo para apoiar estudantes, profissionais e professores da área de engenharia elétrica no processo de ensino e aprendizagem; b) testamos o uso do simulador em uma turma piloto do curso de eletrotécnica ofertado por uma instituição federal de ensino tecnológico, inserida na rede Escola Técnica Aberta do Brasil - E-TEC Brasil, na disciplina sistema elétricos de potência; c) investigamos, por intermédio da estatística descritiva, a influência de o uso de simuladores, AVA e *design* instrucional de conteúdo na eficácia de aprendizagem no curso do E-TEC; d) investigamos, por intermédio da estatística multivariada, um curso de extensão Processamento de Imagens e Reconhecimento de Padrões utilizando Python/Numpy – PIRP. Nesse último foram analisados também o AVA e o design instrucional de conteúdo e foram observadas simulações de programação disponíveis no

ambiente Adessowiki.

Na fundamentação teórica do trabalho, tratamos da formação em engenharia no Brasil (capítulos 1 e 2), de ensino na modalidade a distância e de recursos educacionais e teorias de aprendizagem (capítulo 2). Além disso, descrevemos as técnicas de estatística multivariada empregadas no estudo (capítulo 3).

Destacamos, como contribuição da tese, o desenvolvimento e aplicação de um simulador interativo para apoiar estudantes, profissionais e professores da área de engenharia elétrica no processo de ensino e aprendizagem.

Na etapa de desenvolvimento e de implementação do simulador, foi observada a importância do uso da ciência instrucional. Constatou-se que seu uso pode ser considerado como uma instrução e que a técnica de ISD (*Instructional Systems Development*) utilizada foi importante para viabilizar uma análise cuidadosa e sistemática de cada atividade presente no simulador.

A técnica de ISD em conjunto com a Realidade Virtual serviram para modelar e desenvolver uma ferramenta interativa com intuito de melhorar a aprendizagem baseada na investigação. O simulador também deverá auxiliar na padronização dos procedimentos de operação de redes de distribuição.

Considerando-se que um dos objetivos do desenvolvimento do simulador foi contribuir para a formação e a capacitação no setor de energia e que a abrangência dos resultados dentro da perspectiva da educação é relevante, conclui-se que o simulador apresenta grande potencial de disseminação.

Ainda considerando-se o desenvolvimento e implementação do simulador, além da contribuição na formação de recursos humanos, o projeto integrou pesquisadores de três instituições públicas de ensino, contribuiu para permanência de uma estudante de graduação, que participou do projeto, no curso de engenharia e para o ingresso de dois alunos do curso técnico, também participantes do projeto, em um curso de graduação em engenharia.

Assim, o desenvolvimento e a aplicação do simulador interativo proporcionaram uma nova estratégia de ensino-aprendizagem para estudantes e professores, capaz de incentivar os estudantes participantes do projeto a permanecerem nos cursos de engenharia, além de estimular e atrair os estudantes dos cursos técnicos a ingressarem nos cursos de engenharia.

Na etapa de validação e teste do simulador, constatamos que a funcionalidade do AVA, o *design* instrucional do conteúdo e o uso de simulador influenciam positivamente na

eficácia da aprendizagem. Foi criado um índice de representatividade de cada questão por dimensão e foram observadas, estatisticamente, diversas características importantes a serem consideradas em cursos ofertados na modalidade a distância, como facilidade de navegação no AVA, disponibilidade de ferramentas no AVA, disponibilidade do conteúdo no AVA combinada com a linguagem adequada utilizada no material didático, desenvolvimento e uso de simuladores que abordem atividades práticas do cotidiano profissional com *feedbacks* para o aprendiz.

Ainda na etapa de validação e teste do simulador, foi utilizada a matriz de independência nos dados coletados através de um instrumento. Foram observadas as potencialidades da matriz na análise dos dados e do instrumento em ilustrar pontos fortes e fragilidades de instituições de ensino ofertantes de cursos na área de engenharia na modalidade a distância.

Assim, tanto o índice de representatividade quanto o uso da matriz de independências podem ser usados como ferramentas para auxiliar gestores e coordenadores na identificação de questões que precisam ser melhoradas, continuadas e/ou possivelmente eliminadas.

Outra contribuição da tese foi a investigação por intermédio da aferição estatística com técnicas multivariadas. Observamos, através da técnica de análise de componentes principais (ACP), que os recursos educacionais apontados pelos especialistas foram reagrupados e renomeados após a análise estatística. Constatamos que todos os itens apontados no instrumento são relevantes, apesar do item 2, acesso à internet, ter sido considerado um *outlier*.

Na análise de correlação canônica (ACC), observamos a forte influência dos Grupos I e II (Tabela 13) formados a partir da análise de ACP sobre a eficácia da aprendizagem. Essa pesquisa também comprovou que alguns itens influenciam fortemente nesse resultado. Como era esperado, foi comprovado que, em cursos ofertados *on-line*, é importante que o AVA promova facilidade de uso e interação intuitiva para seus pares. Além disso, destacou-se também que a instituição ofertante tem que se preocupar como o conteúdo será disposto no AVA. Outro destaque a ser observado é que, para cursos na área de engenharia, as simulações são importantes, e as atividades devem estar em consonância com o conteúdo e a prática profissional.

Como resultado, este trabalho gerou um novo instrumento de avaliação, que pode proporcionar, a gestores e professores, elencar requisitos que precisam ser ressaltados em cursos na área de engenharia ofertados *on-line*, para que se esteja alinhado com a prática profissional exigida pela área e para que, com os diagnósticos da avaliação, seja possível estimular e atrair estudantes a continuarem nos cursos de engenharia.

Como trabalhos futuros em relação ao simulador interativo, disseminaremos a ferra-

menta via rede E-Tec Brasil como auxílio no processo ensino-aprendizagem para todo país e demais localidades. E automatizaremos o cálculo do índice de representatividade, bem como da matriz de importância para auxiliar gestores nas decisões e planejamento estratégicos de cursos na área de engenharia ofertados na modalidade a distância.

A aplicação dos instrumentos em cursos técnicos ofertados a distância e em disciplinas regulares de cursos de engenharia podem ser aplicados para se observar o comportamento e o alinhamento dos dados e, posteriormente, fazer uma proposição de *software* para automatização da análise multivariada. Pode-se também fazer uma investigação dessa análise utilizando modelagem de equações estruturais para se observar múltiplas relações entre variáveis dependentes e independentes do estudo analisado.

Finalmente, pode-se, destacar ainda que, a partir desse estudo, foi possível observar que, dentro do ensino de engenharia, parecem conviver diferentes perspectivas teóricas. A mais predominante parece ser a teoria behaviorista. Por outro lado, em cursos a distância nessa área com uso de recursos educacionais, como AVA e simuladores, por exemplo, a visão cognitivista também é utilizada. Destacamos, no entanto, que não foi objetivo desta pesquisa analisar quais teorias sujam ao ensino de engenharia em cursos presenciais ou a distância. Sugere-se, então, como trabalho futuro, a análise desses aspectos, que provavelmente também podem impactar na eficácia do ensino na área. Isso poderia mostrar, por exemplo, que, quando se traz outra visão de ensino e aprendizagem, essa tarefa pode ser mais eficaz. Para tanto, estudar e ter formação para conhecer as diversas teorias de aprendizagem para saber aplicar em cursos ou disciplinas na área de engenharia é outro passo muito importante para os profissionais envolvidos na tarefa de aprender e ensinar.

## REFERÊNCIAS

- AAKER, D. A.; KUMAR, V.; DAY, G. S. **Pesquisa de marketing**. São Paulo: Atlas, 2001.
- AGUIRRE-URRETA, M. I.; MARAKAS, G. M.; ELLIS, M. E. Measurement of composite reliability in research using partial least squares: Some issues and an alternative approach. **ACM SIGMIS Database**, ACM, v. 44, n. 4, p. 11–43, 2013.
- ALMEIDA, D.; SANTOS, M. d.; COSTA, A. F. B. Aplicação do coeficiente alfa de cronbach nos resultados de um questionário para avaliação de desempenho da saúde pública. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA PRODUÇÃO. 30., São Carlos. **Anais...** São Carlos: ABEPRO, 2010. p. 2–12.
- ALVES, J. R. M. A história da ead no brasil. In: LITTO, F. M.; FORMIGA, M. (Ed.). **Educação a distância: O estado da arte**. São Paulo: Pearson, 2009. cap. 2, p. 10–13.
- ANDERSON, T. W. **An introduction to multivariate analysis**. New York: John Wiley, 2003.
- ANDRIOTTI, J. L. S. Análise de componentes principais: fundamentos de uma técnica de análise de dados multivariada aplicável a dados geológicos. **Acta Geologica Leopoldensia**, v. 20, n. 44, p. 27–50, 1997.
- ARAUJO, L. R.; PENIDO, D. R. R.; CARNEIRO, S.; PEREIRA, J. A methodology for optimization of unbalanced distribution systems. **IEEE Latin America Transactions**, IEEE, v. 11, n. 5, p. 1182–1189, 2013.
- BARROS, R. P.; HADDAD, A. N. As novas diretrizes curriculares confrontadas com a resolução CFE 48/76, sob a ótica do sistema de fiscalização do exercício profissional. In: ENCONTRO ENSINO EM ENGENHARIA, 7. Petrópolis. **Anais...** Petrópolis: UFRJ, 2001. v. 7, p. 1–7.
- BARTLETT, M. S. The statistical significance of canonical correlations. **Biometrika**, JSTOR, v. 32, n. 1, p. 29–37, 1941.
- BARTLETT, M. S. Tests of significance in factor analysis. **British Journal of Mathematical and Statistical Psychology**, Wiley Online Library, v. 3, n. 2, p. 77–85, 1950.
- BARTLETT, M. S. A note on the multiplying factors for various  $\chi$  square approximations. **Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)**, JSTOR, p. 296–298, 1954.
- BAZZO, W. A.; PEREIRA, L. T. do V. **Introdução à engenharia: conceitos, ferramentas e comportamentos**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2006.
- BLAND, J. M.; ALTMAN, D. G. Statistics notes: Cronbach's alpha. **British Medical Journal Publishing Group**, v. 314, n. 7080, p. 572, 1997.
- BLOOM, B. S.; ENGELHART, M. D.; FURST, E. J.; HILL, W. H.; KRATHWOHL, D. R. **Taxonomy of educational objectives, handbook I: The cognitive domain**. New York: David McKay Co Inc, 1956.
- BOLFARINE, H.; BUSSAB, W. O. **Elementos de amostragem**. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

BOONE, H. N. J.; BOONE, D. A. Analyzing likert data. **Journal of extension**, ERIC, v. 50, n. 2, p. n2, 2012.

BORREGO, M.; STREVELER, R. A. Learning theories for engineering education practice. In: JOHRI, A.; OLDS, B. M. (Ed.). **Cambridge handbook of engineering education research**. New York: Cambridge, 2014. cap. 23, p. 457–473.

BRASIL. Decreto nº 2.116 de 01 março de 1858. **Coleção de Leis do Império do Brasil, pp. 108, vol. 1, pt II (Publicação Original)**, 1858. Aprova o Regulamento Reformando da Escola de Aplicação do Exercito e do Curso de infantaria e Cavalaria da Província de S. Pedro do Rio Grande do Sul, e os Estatutos da Escola Militar da Corte. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1824-1899/decreto-2116-1-marco-1858-556897-publicacaooriginal-77090-pe.html>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

BRASIL. Decreto Imperial 5.600, de 25 de abril de 1874. **Coleção de Leis do Império do Brasil, pp. 393, vol. 1, pt. II (Publicação Original)**, 1874. Dá estatutos à Escola Polytechnica. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1824-1899/decreto-5600-25-abril-1874-550207-publicacaooriginal-65869-pe.html>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

BRASIL. Lei nº 5.194 de 24 de dezembro de 1966. **DOU, Brasília, 27/10/2011, seção 1, p.14892**, 1966. Regula o Exercício das Profissões de Engenheiro, Arquiteto e Engenheiro-Agrônomo, e dá outras Providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L5194.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L5194.htm)>. Acesso em: 19 fev. 2017.

BRASIL. Resolução nº 218, de 29 de junho de 1973. **Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia**, 1973. Discrimina Atividades das Diferentes Modalidades Profissionais da Engenharia, Arquitetura e Agronomia. Disponível em: <<http://normativos.confea.org.br/downloads/0218-73.pdf>>.

BRASIL. Lei nº 9.394 de 20 de dezembro de 1996. **DOU, Brasília, 23/12/1996, seção 1, p. 27833**, 1996. Estabelece as Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Disponível em: <[http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/lei9394\\_ldbn1.pdf](http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/lei9394_ldbn1.pdf)>. Acesso em: 19 fev. 2017.

BRASIL. Resolução "cne-ces"11, de 11 de março de 2002. **DOU, Brasília, 09/04/2002, seção 1, p. 32**, 2002. Institui Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES112002.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2017.

BRASIL. Decreto nº 5622, de 19 de dezembro de 2005. **DOU, Brasília, n. 243, 2005**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2005/decreto/d5622.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/decreto/d5622.htm)>. Acesso em: 14 fev. 2017.

BRASIL. Decreto nº 5.800, de 8 de junho de 2006. **DOU, Brasília, 09/06/2006, p. 4**, 2006. Dispõe sobre o Sistema Universidade Aberta do Brasil - UAB. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2006/decreto/d5800.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/decreto/d5800.htm)>. Acesso em: 19 fev. 2017.

BRASIL. Referenciais de Qualidade para Educação Superior a Distância. **Secretaria de Educação a Distância. Ministério da Educação**, 2007. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seed/arquivos/pdf/legislacao/refead1.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2017.

BRASIL. Decreto nº 7.589 de 26 de outubro de 2011. **DOU, Brasília, 27/10/2011, seção 1, p.3**, 2011. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2011/Decreto/D7589.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2011/Decreto/D7589.htm)>. Acesso em: 14 fev. 2017.

BROWN, J. S.; COLLINS, A.; DUGUID, P. Situated cognition and the culture of learning. **Educational researcher**, Sage Publications Sage CA: Thousand Oaks, CA, v. 18, n. 1, p. 32–42, 1989.

BURDEA, G. C.; COIFFET, P. **Virtual reality technology**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2003. v. 1.

CAPES. **Perguntas Frequentes - Sistema UAB**. 2017. Disponível em: <<http://www.capes.gov.br/acesoainformacao/perguntas-frequentes/educacao-a-distancia-uab/4144-o-que-e>>.

CARVALHO, A. S.; BARONE, D. A. C.; ZARO, M. A. A aprendizagem significativa no ensino de engenharia de controle e automação. **RENOTE**, v. 8, n. 3, 2010.

CHANG, Z.; FANG, Y.; ZHANG, Y.; HU, C. A training simulation system for substation equipments maintenance. In: 2010 INTERNATIONAL CONFERENCE ON MACHINE VISION AND HUMAN-MACHINE INTERFACE, Kaifeng. **Proceedings...** Kaifeng, China: IEEE, 2010. p. 572–575.

CHEN, Z.; DING, S. X.; ZHANG, K.; LI, Z.; HU, Z. Canonical correlation analysis-based fault detection methods with application to alumina evaporation process. **Control Engineering Practice**, Elsevier, v. 46, p. 51–58, 2016.

CLANCEY, W. J. A tutorial on situated learning. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS AND EDUCATION, Singapura. **Proceedings...** Singapura: AACE, 1995. p. 49–70.

CLARKE, F. H. A new approach to lagrange multipliers. **Mathematics of Operations Research**, INFORMS, v. 1, n. 2, p. 165–174, 1976.

CLASON, D. L.; DORMODY, T. J. Analyzing data measured by individual likert-type items. **Journal of Agricultural Education**, v. 35, p. 4, 1994.

COELCE. **Padrão de estruturas especiais PE-034/2008 R-02**. 2008. Disponível em: <[http://www.eneldistribuicao.com.br/ce/documentos/PE-034\\_R02.pdf](http://www.eneldistribuicao.com.br/ce/documentos/PE-034_R02.pdf)>.

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. 2nd. ed.. ed. EUA: Lawrence Erlbaum Associates, 1988.

CORTINA, J. M. What is coefficient alpha? an examination of theory and applications. **Journal of applied psychology**, American Psychological Association, v. 78, n. 1, p. 98–104, 1993.

CRAIG, A. B.; SHERMAN, W. R.; WILL, J. D. **Developing virtual reality applications: Foundations of effective design**. Burlington: Morgan Kaufmann, 2009.

CRONBACH, L. J. Coefficient alpha and the internal structure of tests. **Psychometrika**, Springer, v. 16, n. 3, p. 297–334, 1951.

DALLABONA, C. A. Educação em engenharia a distância no brasil: situação e perspectiva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO EM ENGENHARIA, 42., Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: Associação Brasileira de Engenharia, 2014. p. 1–11.



- DAMÁSIO, B. F. Uso da análise fatorial exploratória em psicologia. **Avaliação psicológica**, Instituto Brasileiro de Avaliação Psicológica. UFRGS, v. 11, n. 2, p. 213–228, 2012.
- DICK, W.; CAREY, L.; CAREY, J. O. **The systematic design of instruction**. Florida: Pearson, 8 ed., 2014. 444 p.
- ENGINEERING UK . **The state of engineering**. 2015. Disponível em: <<http://www.theiet.org/membership/member-news/37a/engineering-uk-report.cfm>>. Acesso em: 14 fev. 2016.
- ENGINEERING UK . **The state of engineering**. 2016. Disponível em: <<http://epc.ac.uk/state-of-engineering-2016/>>. Acesso em: 14 fev. 2016.
- FERRAZ, A. P. C. M.; BELHOT, R. V. Taxonomia de bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais. **Gestão e Produção**, Scielo Brasil, v. 17, n. 2, p. 421–431, 2010.
- FERREIRA, D. F. **Estatística multivariada**. Lavras: Editora UFLA, 2008.
- FIGUEIREDO, D. B. F.; SILVA, J. A. J. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de pearson. **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 115–146, 2009.
- FILATRO, A. As teorias pedagógicas fundamentais em ead. In: LITTO, F. M.; FORMIGA, M. (Ed.). **Educação a distância: O estado da arte**. São Paulo: Pearson, 2009. cap. 14, p. 96–104.
- FLOYD, F. J.; WIDAMAN, K. F. Factor analysis in the development and refinement of clinical assessment instruments. **Psychological Assessment**, American Psychological Association, v. 7, n. 3, p. 286–299, 1995.
- FORNELL, C.; LARCKER, D. F. Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. **Journal of marketing research**, JSTOR, p. 39–50, 1981.
- FREITAS, C. A. **Introdução à Engenharia**. São Paulo: Pearson, 2014.
- GALVAN-BOBADILLA, I.; AYALA-GARCIA, A.; RODRIGUEZ-GALLEGOS, E.; ARROYO-FIGUEROA, G. Virtual reality training system for the maintenance of underground lines in power distribution system. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATIVE COMPUTING TECHNOLOGY (INTECH), 3., Londres. **Proceedings...** Londres: IEEE, 2013. p. 199–204.
- GOMES, C. A. d. C. A legislação que trata da ead. In: LITTO, F. M.; FORMIGA, M. (Ed.). **Educação a distância: O estado da arte**. São Paulo: Pearson, 2009. cap. 4, p. 21–27.
- GONÇALVES, S. Teorias da aprendizagem, praticas de ensino. **Coletânea de textos. Escola Superior de Educação do Instituto Politécnico de Coimbra**, 2007.
- GUTHRIE, E. R. **Psychology of learning**. Harper, 1935.
- HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2009.
- HE, W.; GAJSKI, D.; FARKAS, G.; WARSCHAUER, M. Implementing flexible hybrid instruction in an electrical engineering course: The best of three worlds? **Computers & Education**, Elsevier, v. 81, p. 59–68, 2015.

HO, C.-L.; DZENG, R.-J. Construction safety training via e-learning: Learning effectiveness and user satisfaction. **Computers & Education**, Elsevier, v. 55, n. 2, p. 858–867, 2010.

HORA, H. R. M.; MONTEIRO, G. T. R.; ARICA, J. Confiabilidade em questionários para qualidade: um estudo com o coeficiente alfa de cronbach. **Produto & Produção**, v. 11, n. 2, p. 85–103, 2010.

HOTELLING, H. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. **Journal of educational psychology**, Warwick & York, v. 24, n. 6, p. 417, 1933.

IBM. **Principal Components Analysis using SPSS Statistics**. 2017. Disponível em: <<https://statistics.laerd.com/spss-tutorials/principal-components-analysis-pca-using-spss-statistics.php>>.

IEC62271-102. **High-voltage switchgear and controlgear – Part 102: Alternating current disconnectors and earthing switches**. 2001. Disponível em: <[https://webstore.iec.ch/preview/info\\_iec62271-102%7Bed1.0%7Den.pdf](https://webstore.iec.ch/preview/info_iec62271-102%7Bed1.0%7Den.pdf)>.

IME. **História do Instituto Militar de Engenharia**. 2017. Disponível em: <<http://www.ime.eb.br/historia.html>>. Acesso em: 15 fev. 2017.

IUB. **Quem somos**. 2017. Disponível em: <<http://www.institutouniversal.com.br/institucional/quem-somos>>.

JACKSON, D. A. Stopping rules in principal components analysis: a comparison of heuristical and statistical approaches. **Ecology**, Wiley Online Library, v. 74, n. 8, p. 2204–2214, 1993.

JACKSON, J. E. **A user's guide to principal components**. New York: John Wiley & Sons, 1991.

JOBSON, J. **Applied multivariate data analysis: volume II: Categorical and Multivariate Methods**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2012.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 6a ed., 2007.

JONES, J. Closing the gender gap. **Civil Engineering Magazine Archive**, American Society of Civil Engineers, v. 80, n. 7, p. 60–63, 2010.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, Springer, v. 23, n. 3, p. 187–200, 1958.

KAISER, H. F. A second generation little jiffy. **Psychometrika**, Springer, v. 35, n. 4, p. 401–415, 1970.

KAISER, H. F. An index of factorial simplicity. **Psychometrika**, Springer, v. 39, n. 1, p. 31–36, 1974.

KENSKI, V. M. **Design Instrucional para cursos on-line**. São Paulo: SENAC, 2015.

KUMAR, R. R.; KHADIR, F. *et al.* A study on teaching effectiveness of self-financing engineering college teachers in kerala. **International Journal of Asian Social Science**, Asian Economic and Social Society, v. 3, n. 1, p. 1–9, 2013.

LAMAR, M. V.; BHUIYAN, M. S.; IWATA, A. Reconhecimento de posturas manuais usando redes neurais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE REDES NEURAIAS. 6., São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABRICOM, 2003. p. 307–312.

LAVE, J. **Cognition into practice**: mind, mathematics and culture in everyday life. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.

LAVE, J.; WENGER, E. **Situated learning**: Legitimate peripheral participation. New York: Cambridge university press, 1991.

LI, Q. An empirical analysis of cash payback capacity in nonperforming asset pool. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGEMENT SCIENCE AND ENGINEERING. 15., Long Beach. **Proceedings...** Long Beach, USA: IEEE, 2008. p. 1191–1196.

LOTUFO, R. A.; MACHADO, R. C.; KÖRBES, A.; RAMOS, R. G. Adessowiki on-line collaborative scientific programming platform. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WIKIS AND OPEN COLLABORATION. 5., New York. **Proceedings...** New York: ACM, 2009. p. 10.

MACHADO, R. C.; RITTNER, L.; LOTUFO, R. A. Adessowiki-collaborative platform for writing executable papers. **Procedia Computer Science**, Elsevier, v. 4, p. 759–767, 2011.

MADRUGA, E. P.; CANHA, L. N. Allocation and integrated configuration of capacitor banks and voltage regulators considering multi-objective variables in smart grid distribution system. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRY APPLICATIONS (INDUSCON). 9., São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: IEEE, 2010. p. 1–6.

MARGARYAN, A.; BIANCO, M.; LITTLEJOHN, A. Instructional quality of massive open online courses (moocs). **Computers & Education**, Elsevier, v. 80, p. 77–83, 2015.

MAROCO, J.; GARCIA-MARQUES, T. Qual a fiabilidade do alfa de cronbach? questões antigas e soluções modernas? **Laboratório de Psicologia**, v. 4, n. 1, p. 65–90, 2006.

MEC. **Cadastro e-MEC de Instituições e Cursos de Educação Superior**. 2017. Disponível em: <<http://emec.mec.gov.br>>.

MERRILL, M. D.; DRAKE, L.; LACY, M. J.; PRATT, J.; GROUP, I. R. *et al.* Reclaiming instructional design. **Educational Technology**, v. 36, n. 5, p. 5–7, 1996.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1a reimpressão, 2007.

MONITOR, I. **Quem somos**. 2017. Disponível em: <[https://www.institutomonitor.com.br/?post\\_type=product&s=HISTÓRICO](https://www.institutomonitor.com.br/?post_type=product&s=HISTÓRICO)>.

MOREIRA, A. C. Comparação da análise de componentes principais e da catpca na avaliação da satisfação do passageiro de uma transportadora aérea. **Investigação Operacional**, APDIO-Associação Portuguesa de Investigação Operacional, v. 27, n. 2, p. 165–178, 2007.

MOREIRA, M. A. ¿ al final, qué es aprendizaje significativo? **Qurrriculum: revista de teoría, investigación y práctica educativa**. **La Laguna, Espanha.**, n. 25, 2012.

MUHANNA, M. A. Virtual reality and the cave: Taxonomy, interaction challenges and research directions. **Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences**, Elsevier, v. 27, n. 3, p. 344–361, 2015.

NATIONAL SCIENCE FOUNDATION . **Women, Minorities, and Persons with Disabilities in Science and Engineering: 2015 (Special Report NSF No. 15-311)**. 2015. Disponível em: <<http://www.nsf.gov/statistics/wmpd>>.

NEWTETTER, W. C.; SVINICKI, M. D. Learning theories for engineering education practice. In: JOHRI, A.; OLDS, B. M. (Ed.). **Cambridge handbook of engineering education research**. New York: Cambridge, 2014. cap. 2, p. 29–46.

NUNES, A. O.; SILVA, T.; MOTA, J.; ALMEIDA, A.; ANDRIOLA, W. B. Validation of the academic management evaluation instrument based on principal component analysis for engineering and technological courses. **Ingeniería e Investigación**, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia., v. 35, n. 2, p. 96–102, 2015b.

NUNES, A. O.; SILVA, T. E. V.; MOTA, J. C. M.; ALMEIDA, A. L. F.; ANDRIOLA, W. B. Developing an instrument for assessment of academic management in engineering courses. **IEEE Latin America Transactions**, v. 13, n. 1, p. 264–271, 2015a.

OLAWALE, F.; GARWE, D. Obstacles to the growth of new smes in south africa: A principal component analysis approach. **African journal of Business management**, Academic Journals, v. 4, n. 5, p. 729–738, 2010.

OLIVEIRA, V. F. Retrospecto sobre a formação em engenharia. **Educação em Engenharia: evolução, bases e formatação. Juiz de Fora: Fórum Mineiro de Engenharia de Produção–FMEPRO**, 2010.

OLIVEIRA, V. F.; ALMEIDA, N. N.; CARVALHO, D. M.; PEREIRA, F. A. A. Um estudo sobre a expansão da formação em engenharia no Brasil. **Revista de Ensino de Engenharia**, 2013.

OLIVEIRA, V. F.; QUEIROS, P. L.; BORGES, M. N.; CORDEIRO, J. S.; DIAS, M. R.; BRITO, L.; JR, A. R.; BENEDITO, G.; ALMEIDA, N. N.; SILVA, P. R. *et al.* Trajetória e estado da arte da formação em engenharia, arquitetura e agronomia–volume i: Engenharias. **Brasília: Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia**, 2010.

PADILLA, M. A.; DIVERS, J. A comparison of composite reliability estimators coefficient omega confidence intervals in the current literature. **Educational and Psychological Measurement**, SAGE Publications, p. 1–18, 2015.

PERES-NETO, P. R.; JACKSON, D. A.; SOMERS, K. M. How many principal components? stopping rules for determining the number of non-trivial axes revisited. **Computational Statistics & Data Analysis**, Elsevier, v. 49, n. 4, p. 974–997, 2005.

PIAGET, J. **To understand is to invent::** The future of education. New York, EUA: Grossman, 1973.

PINTO, D. P.; OLIVEIRA, V. F. de. Reflexões sobre a prática do engenheiro-professor. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO EM ENGENHARIA - COBENGE. 40., Belém. **Anais...** Belém: Associação Brasileira de Engenharia, 2012. p. 1–11.

POLIDORO, L. F.; STIGAR, R. A transposição didática: a passagem do saber científico para o saber escolar. **Ciberteologia–Revista de teologia & Cultura**, 2010.

POLYTECHNIQUE , **Histórico - École Polytechnique**. 2017. Disponível em: <<https://www.polytechnique.edu/fr/histoire>>. Acesso em: 15 fev. 2016.

QUEIRÓS, P. L.; OLIVEIRA, V. F.; FILHO, M. d. S. A.; NETO, B. G. A. Trajetória e estado da arte da formação em engenharia, arquitetura e agronomia–volume iii: Engenharias da área de eletricidade. **Brasília: Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia**, 2010.

RAYKOV, T. Estimation of composite reliability for congeneric measures. **Applied Psychological Measurement**, SAGE Publications, Inc. 2455 Teller Road, Thousand Oaks, CA 91320, v. 21, n. 2, p. 173–184, 1997.

RINGLE, C. M.; SILVA, D. D.; BIDO, D. d. S. Modelagem de equações estruturais com utilização do smartpls. **REMark**, Universidade Nove de Julho (UNINOVE), PPGA, v. 13, n. 2, p. 54, 2014.

RIOJAS, M.; LYSECKY, S.; ROZENBLIT, J. Educational technologies for precollege engineering education. **IEEE Transactions on Learning Technologies**, v. 5, n. 1, p. 20–37, 2012.

RITTNER, L.; BENTO, M. P.; COSTA, A. L.; SOUZA, R. M.; MACHADO, R. C.; LOTUFO, R. A. Web-based platform for collaborative medical imaging research. In: MEDICAL IMAGING 2015 PACS AND IMAGING INFORMATICS, NEXT GENERATION AND INNOVATIONS, Orlando. **Proceedings...** Orlando: International Society for Optics and Photonics, 2015. v. 9418, p. 94180B.

RITTNER, L.; SAUDE, A. V.; SILVA, A. G.; MACHADO, R. C.; BENTO, M. P.; LOTUFO, R. A. Adessowiki: Collaborative scientific programming environment. In: SIBIGRAPI CONFERENCE ON GRAPHICS, PATTEERNS AND IMAGES. 24., Maceió. **Proceedings...** Maceió: IEEE, 2011. p. 56–62.

ROCHA, A. J. F. *et al.* Engenharia, origens e evolução. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA - NOVOS PARADIGMAS DA EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA. 35., Curitiba. **Anais...** Curitiba - PR: ABENGE, 2007. p. 1–13.

SANTOS, C. A. M.; MONTEIRO, M. A. A.; FERRAZ, D. P. A.; PEREIRA, M. A. C.; MONTEIRO, I. C. C.; SILVA, G. S.; CAPRI, M. R.; NETO, A. C.; SCHNEIDER, S. G.; MOREIRA, M. A. Sócio-constructivismo e o uso de metodologias ativas de aprendizagem no ensino de engenharia. In: OLIVEIRA V. F.; TOZZI, M. J.; LODER, L. L. (Ed.). **DESAFIOS DA EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA: Formação em Engenharia, Capacitação Docente, Experiências Metodológicas e Proposições**. Brasília: Abenge, 2014. cap. 14, p. 370.

SANTOS, M. P. dos. Engenho, engenharia e engenheiro: Uma trilogia perfeita. **Revista TechnoEng**, v. 1, n. 5, 2012.

SANTOS, S. R. B.; SILVA, M. A. da. Os cursos de engenharia no brasil e as transformações nos processos produtivos-do século xix aos primórdios do século xxi. **Educação em Foco**, v. 2, n. 12, p. 21–35, 2008.

SARGENT, J. F. J. The US science and engineering workforce: recent, current, and projected employment, wages, and unemployment. **Congressional Research Service**, Washington, p. 1–35, 2014.

SBICIGO, J. B.; BANDEIRA, D. R.; DELL'AGLIO, D. D. Rosenberg self-esteem scale (rss): factorial validity and internal consistency. **Psico-USF**, Scielo Brasil, v. 15, n. 3, p. 395–403, 2010.

SCAVARDA, L. C.; OLIVEIRA, V. F. de; ALMEIDA, N. N. de. Engineering education in brazil. In: 2015 INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTERACTIVE COLLABORATIVE LEARNING, Itália. **Proceedings...** Itália: IEEE, 2015. p. 1178–1180.

SCHLEMMER, E. Projetos de aprendizagem baseados em problemas: uma metodologia interacionista/construtivista para formação de comunidades em ambientes virtuais de aprendizagem. **Colabor@-A Revista Digital da CVA-Ricesu**, v. 1, n. 2, 2001.

SCHWARTZMAN, S. **The future of higher education in Brazil**. Washington: Woodrow Wilson International Center for Scholars, 1992.

SEBER, G. Multivariate observations, John Wiley & Sons. **New York**, p. 686, 1984.

SILVA, M. B. C. d. **Adaptação da escala SERVQUAL para avaliação da qualidade dos serviços no contexto da construção de edificações multifamiliares**. Dissertação (Mestrado) — Universidade De Caxias Do Sul, Caxias do Sul, 2011.

SILVA, T. E. V.; SOUZA, T. I. A.; FILHO, F. F. B.; SANTOS, F. J.; GOMES, P. R. B.; RIBEIRO, G.; NUNES, A. O.; VASCONCELOS, F. H. L. Análise de componentes principais aplicada a avaliação discente: um estudo de caso em ambientes virtuais de aprendizagem. **Computer on the beach**, p. 71–80, 2012.

SKINNER, B. F. **The behavior of organism::** An experimental analysis. Oxford, England: D. Appleton-Century, 1938. 457 p.

SKINNER, B. F. Classics in the history of psychology. **Psychological Review**, v. 57, p. 193–216, 1950.

SOUSA, M. P. A.; FILHO, M. R.; NUNES, M. V. A.; LOPES, A. C. Maintenance and operation of a hydroelectric unit of energy in a power system using virtual reality. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, Elsevier, v. 32, n. 6, p. 599–606, 2010.

TÉCNICO, R. **Censo da Educação Superior de 2013**. Brasília: Ministério da Educação, 2015. Disponível em: <[http://download.inep.gov.br/download/superior/censo/2013/resumo\\_tecnico\\_censo\\_educacao\\_superior\\_2013.pdf](http://download.inep.gov.br/download/superior/censo/2013/resumo_tecnico_censo_educacao_superior_2013.pdf)>. Acesso em: 14 fev. 2017.

TEIXEIRA, K. C. B.; SILVA da; MOTA, J. C. M. Active methodologies for teaching linear algebra in an engineering course. **IEEE Latin America Transactions**, IEEE, v. 14, n. 2, p. 837–843, 2016.

TIMM, N. **Applied multivariate analysis**. New York: Springer, 2002.

TINO, V. F. **Utilização de análise de componentes principais na regulação de máquinas de injeção plástica**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

TITLEY, C. Engineering engineers [back to school education]. **Engineering & Technology**, IET, v. 9, n. 9, p. 32–36, 2014.

VALDEZ, M. T.; FERREIRA, C. M.; BARBOSA, F. M. Distance education using a desktop virtual reality (vr) system. In: EAEEIE ANNUAL CONFERENCE. 24., Chania. **Proceedings...** Chania: IEEE, 2013. p. 145–150.

VALENTINI, F.; DAMÁSIO, B. F. Variância média extraída e confiabilidade composta: indicadores de precisão. **Psicologia: Teoria e Pesquisa**, v. 32, n. 2, p. 1–7, 2016.

WATSON, J. B. Psychology as the behaviorist views it. **Psychological review**, Psychological Review Company, v. 20, n. 2, p. 158–177, 1913.

WILSON, B. G.; MYERS, K. M. Situated cognition in theoretical and practical context. **Theoretical foundations of learning environments**, p. 57–88, 2000.

ZAVALANI, O.; SPAHIU, A. Use curiosity for virtual reality “as a hook” in the engineering education. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTERACTIVE COLLABORATIVE LEARNING. 15., Villach. **Proceedings...** Villach, Austria: IEEE, 2012. p. 1–4.