

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO INTERDISCIPLINAR DE NOVAS TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO

PRISCILA CADORIN NICOLETE

**O USO DE LABORATÓRIO REMOTO, VIRTUAL E REMOTO AUMENTADO PARA
APOIAR A APRENDIZAGEM EXPERIENCIAL DE CIRCUITOS ELÉTRICOS**

Orientadora: Prof. Dra. Liane Margarida Rockenbach Tarouco

Coorientador: Prof. Dr. Fabrício Herpich

Porto Alegre

2022

PRISCILA CADORIN NICOLETE

**O USO DE LABORATÓRIO REMOTO, VIRTUAL E REMOTO AUMENTADO PARA
APOIAR A APRENDIZAGEM EXPERIENCIAL DE CIRCUITOS ELÉTRICOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação do Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutora em Informática na Educação.

Orientador: Prof. Dra. Liane Margarida Rockenbach
Tarouco

Coorientador: Prof. Dr. Fabrício Herpich

Porto Alegre
2022



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO INTERDISCIPLINAR DE NOVAS TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO

**ATA SOBRE A DEFESA DE TESE DE DOUTORADO
PRISCILA CADORIN NICOLETE**

Às quatorze horas do dia vinte e quatro de janeiro de dois mil e vinte e dois, no endereço eletrônico <https://mconf.ufrgs.br/webconf/laboratorio-virtual>, conforme a portaria 2291 de 17/03/2020 que suspende todas as atividades presenciais possíveis, nesta Universidade, reuniu-se a Comissão de Avaliação, composta pelos Professores Doutores: Patricia Fernanda da Silva, Juarez Bento da Silva, Luciano Denardin de Oliveira para a análise da Defesa de Tese de Doutorado intitulada **“O Uso de Laboratório Remoto, Virtual e Remoto Aumentado para Apoiar a Aprendizagem Experiencial de Circuitos Elétricos.”** da doutoranda de Pós – Graduação em Informática na Educação Priscila Cadorin Nicolete sob a orientação da Prof.^a Dr.^a Liane Margarida Rockenbach Tarouco e do Coorientador Prof. Dr. Fabrício Herpich.

A Banca, reunida, após a apresentação e arguição, emite o parecer abaixo assinalado.

[x] Considera a Tese Aprovada
() sem alterações;
() sem alterações, com voto de louvor;
(x) e recomenda que sejam efetuadas as reformulações e atendidas as sugestões contidas nos pareceres individuais dos membros da Banca;

[] Considera a Tese Reprovada.

Considerações adicionais (a critério da Banca):

A banca considera que a tese tem mérito e é pertinente e ressalta a quantidade expressiva de publicações. Pequenos ajustes na formatação e outros pontos devem ser feitos, tal como recomendado nos documentos enviados pelos integrantes da banca.

Prof.^a Dr.^a Liane Margarida Rockenbach Tarouco
Orientadora

Prof. Dr. Fabrício Herpich
Coorientador

_____(videoconferência)_____
Prof.^a Dr.^a Patrícia Fernanda da Silva
PPGIE/ UFRGS

_____(videoconferência)_____
Prof.^a Dr.^a Juarez Bento da Silva
UFSC

_____(videoconferência)_____
Prof.^a Dr.^a Luciano Denardin de Oliveira
PUCRS

CIP – CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

Nicolete, Priscila Cadorin

O uso de Laboratório Remoto, Virtual e Remoto Aumentado para apoiar a aprendizagem experiencial de circuitos elétricos / Priscila Cadorin Nicolete. -- 2022.

252 f.

Orientadora: Liane Margarida Rockenbach Tarouco.

Coorientador: Fabrício Herpich

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro de Estudos Interdisciplinares em Novas Tecnologias na Educação, Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação, Porto Alegre, BR-RS, 2022.

1. Laboratórios Remotos. 2. Realidade Aumentada. 3. Aprendizagem Experiencial. I. Tarouco, Liane Margarida Rockenbach, orient. II. Herpich, Fabrício III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Carlos André Bulhões Mendes

Vice-Reitora: Profa. Jane Fraga Tutikian

Pró-Reitor de Pós-Graduação: Prof. Celso Loureiro Chaves

Diretor do CINTED: Prof. Dr. Marcus Vinicius de Azevedo Basso

Coordenador do PPGC: Prof. Dr. Dante Augusto Couto Barone

Bibliotecária-Chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, o centro e o fundamento de tudo em minha vida, por renovar a cada momento a minha força e disposição, pelo discernimento concedido ao longo dessa jornada e por ter colocado tantas pessoas incríveis no meu caminho.

Agradeço aos meus queridos pais, por todo amor e carinho concedido, que sempre me apoiaram e me incentivaram a seguir em frente. Aos meus irmãos, meus melhores amigos e meus maiores exemplos, por sempre me apoiarem, me auxiliando nos momentos em que eu mais precisava de apoio com suas palavras de motivação.

Ao meu marido por estar sempre ao meu lado, pelas palavras de conforto, por se fazer sempre presente com muito amor, carinho, dedicação e paciência.

À professora Dra. Liane Margarida Rockenbach Tarouco, minha orientadora, pela confiança depositada em mim para a realização deste trabalho. Ao meu coorientador, professor Dr. Fabrício Herpich, colega e amigo, pelas conversas, contribuições, conselhos e por sempre me motivar a seguir em frente. Sempre ouviu pacientemente as minhas considerações, compartilhando comigo seu conhecimento e experiências. Estendo meu agradecimento aos demais professores e funcionários do PPGIE, pelo excelente trabalho que realizam ajudando a alcançar os resultados de excelência deste programa.

À professora Rúbia Fabiana Dallabrida Herrmann, do Centro de Educação Básica Francisco de Assis, e ao professor Eduardo Oliveira Junior, do Instituto Federal de Santa Catarina, que abriram as portas e me concederam a oportunidade de validar a minha pesquisa em suas disciplinas. Pelos seus ensinamentos e trocas de experiência que enriqueceram tanto esta tese, e que contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional. Ao grupo de pesquisa Rexlab da Universidade Federal de Santa Catarina.

Aos colegas do PPGIE; sempre que precisei pude contar com o carinho e apoio de todos. Pelas confraternizações, conhecimentos trocados e contribuições para esta tese. Em especial, aos amigos Francisco Dutra dos Santos Júnior, Igor Kühn, Neiva Kuyven, Michele Guizzo, Dauster Souza Pereira, Roberta Gerling Moro, Rafaela Ribeiro Jardim, Francisco Euder dos Santos, Aliane Loureiro Krassmann e Kessia Moura. Lembrarei eternamente das amizades que fiz e todo apoio que recebi.

Ao CNPq que financiou esta pesquisa e foi, portanto, essencial para minha dedicação em busca da construção desse conhecimento. Por fim, a todos os amigos que, de forma direta ou indiretamente, estiveram presentes nesse momento tão especial da minha vida profissional.

RESUMO

O objetivo do estudo é investigar se o uso de diferentes tipos de laboratórios *online*, a partir dos preceitos da Teoria de Aprendizagem Experiencial, pode interferir positivamente nos processos de ensino e aprendizagem de circuitos elétricos no contexto do Ensino Remoto Emergencial, em termos de desempenho conceitual e motivação. Os laboratórios *online* contemplam os laboratórios virtuais, remotos e híbridos. Os laboratórios virtuais e remotos são tecnologias conhecidas e já é possível encontrar esses recursos para o ensino. Já os laboratórios híbridos são tecnologias emergentes, e seus estudos, desenvolvimento e disponibilização ainda são incipientes. Entre os laboratórios híbridos estão os Laboratórios Remotos Aumentados (LRA), que se configuram pelo uso de Realidade Aumentada em laboratórios remotos, permitindo que os usuários obtenham experiências mais completas em suas práticas educacionais. Com isso, essa investigação contempla o desenvolvimento de um LRA, a fim de explorar diferentes tipos de laboratórios *online* para o ensino de circuitos elétricos, a partir de estratégias pedagógicas baseadas no Ciclo de Aprendizagem Experiencial de David Kolb. Para efetivar tal proposta, fez-se necessário uma abordagem quantitativa e qualitativa, de uma pesquisa de natureza aplicada, cujo objetivo é de uma pesquisa explicativa, com procedimento técnico de um Estudo de Caso Explanatório de casos múltiplos. A pesquisa foi aplicada com 82 estudantes de duas turmas de ensino médio: (i) 23 estudantes do 3º ano do ensino médio do Centro de Educação Básica Francisco de Assis (EFA), Ijuí - RS, e; (ii) 59 estudantes do 1º de ensino médio do curso Técnico Concomitante em Eletromecânica do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Campus Araranguá - SC. Devido à investigação contemplar o desenvolvimento de um LRA, além da realização do estudo explanatório principal, fez-se necessário o desenvolvimento de três estudos de caso preliminares exploratórios, a fim de validar a ferramenta desenvolvida junto a alunos e professores. Os resultados demonstraram que as estratégias pedagógicas elaboradas contribuíram no desempenho conceitual dos estudantes, auxiliando-os na superação de dificuldades de aprendizagem frequentemente enfrentadas no estudo de circuitos elétricos, além de serem capazes de motivar os estudantes. As principais contribuições desta tese versam na proposição de estratégias pedagógicas para a combinação de diferentes tipos de laboratórios *online* a partir de uma teoria de aprendizagem consolidada e no desenvolvimento de laboratório híbrido, fazendo uso de Laboratório Remoto e Realidade Aumentada.

Palavras-chaves: Aprendizagem Experiencial; Laboratório Remoto; Laboratório Híbrido; Realidade Aumentada; Ensino de Circuitos Elétricos.

ABSTRACT

The aim of the study is to investigate whether the use of different types of online laboratories, based on the precepts of the Experiential Learning Theory, can positively interfere in the teaching and learning processes of electrical circuits in the context of Remote Emergency Teaching, in terms of conceptual performance and motivation. Online labs include virtual, remote, and hybrid labs. Virtual and remote labs are known technologies and these resources for teaching are already available. Hybrid laboratories are emerging technologies, and their studies, development, and availability are still incipient. Among the hybrid laboratories are the Augmented Remote Laboratories (ARL), which are configured by the use of Augmented Reality in remote laboratories, allowing users to obtain more complete experiences in their educational practices. Thus, this investigation contemplates the development of an ARL, in order to explore different types of online laboratories for teaching electrical circuits, from pedagogical strategies based on David Kolb's Experiential Learning Cycle. To carry out such proposal, a quantitative and qualitative approach was necessary, of a research of an applied nature, whose objective is explanatory research, with a technical procedure of an Explanatory Case Study of multiple cases. The research was applied with 82 students from two high school classes: (i) 23 students from the 3rd year of high school at the Centro de Educação Básica Francisco de Assis (EFA), Ijuí - RS, and; (ii) 59 students from the 1st high school of the Concomitant Technician in Electromechanics course at the Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Campus Araranguá - SC. Due to the fact that the investigation contemplates the development of an ARL, in addition to carrying out the main explanatory study, it was necessary to develop three preliminary exploratory case studies, in order to validate the tool developed with students and teachers. The results showed that the pedagogical strategies developed contributed to the conceptual performance of students, helping them to overcome learning difficulties often faced in the study of electrical circuits, in addition to being able to motivate students. The main contributions of this thesis deal with the proposition of pedagogical strategies for the combination of different types of online laboratories from a consolidated learning theory and in the development of a hybrid laboratory, making use of Remote Laboratory and Augmented Reality.

Keywords: Experiential Learning; Augmented Reality; Remote Laboratory; Hybrid Laboratory; Teaching of Electrical Circuits.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos tipos de laboratórios práticos	40
Figura 2 - Laboratório Virtual “Kit de Construção de Circuitos” PheT	43
Figura 3 - Experimento remoto “Painel Elétrico CC” acessado do por dispositivos móveis e convencional.....	46
Figura 4 - Exemplificação do conceito de Laboratório Híbrido.....	48
Figura 5 - Virtuality Continuum	50
Figura 6 - Resultados das buscas em cada base de dados – SCOPUS, IEEE Xplore Digital ..	56
Figura 7 - Publicações por ano	59
Figura 8 - Percentual dos cinco países que mais publicaram sobre o tema.....	59
Figura 9 - Laboratório Remoto utilizando Realidade Aumentada.....	62
Figura 10 - LRA ambiente robótico.....	64
Figura 11 - Laboratório Remoto Aumento - PLC.....	64
Figura 12 - Modos de adaptação definidos por Kolb (2014).....	73
Figura 13 - Ciclo Experiencial de Kolb.....	78
Figura 14 - Módulo STEM para o ensino de robótica de Zainal et al., baseado no ciclo de Kolb	84
Figura 15 - Modelo de práticas laboratoriais Abdulwahed-Nagy, baseado na teoria de Kolb ..	86
Figura 16 - Detalhamento dos objetivos dos estudos de casos realizados.....	89
Figura 17 - Etapas da pesquisa	90
Figura 18 - Detalhamento da aplicação do projeto em sala de aula	94
Figura 19 - Categorização e codificação para análise de conteúdo	101
Figura 20 - Painel Elétrico CA disponibilizado pelo Rexlab.....	102
Figura 21 - Detalhamento da composição de RA no experimento “Painel Elétrico CA”	103
Figura 22 - Funcionamento do acesso ao LRA “Painel Elétrico CA Aumentado”	103
Figura 23 - Arquitetura dos Laboratórios Remotos desenvolvidos pelo Rexlab – RELLE ...	104
Figura 24 - Detalhamento do funcionamento da comunicação entre o Laboratório Remoto e a Realidade Aumentada.....	107
Figura 25 - Imagem dos estudantes em sala de aula utilizando o Laboratório Remoto Aumentado	110
Figura 26 - Moda calculada para as frequências apresentadas para cada afirmativa do questionário MAREEA – Ensino Superior.....	111
Figura 27 - Percepção dos estudantes em relação a sua motivação com o uso do LRA	112

Figura 28 - Percepção dos estudantes em relação ao seu engajamento com o uso do LRA ..	113
Figura 29 - Percepção dos estudantes em relação a sua aprendizagem com o uso do LRA ..	114
Figura 30 - Percepção dos estudantes em relação a usabilidade com o uso dos laboratórios <i>online</i>	114
Figura 31 - Moda calculada para as frequências apresentadas para cada afirmativa do questionário MAREEA – Ensino Técnico	117
Figura 32 - Percepção dos estudantes em relação a sua motivação com o uso do LRA	118
Figura 33 - Percepção dos estudantes em relação ao seu engajamento com o uso do LRA ..	119
Figura 34 - Percepção dos estudantes em relação a sua aprendizagem com o uso do LRA ..	120
Figura 35 - Percepção dos estudantes do ensino técnico em relação a usabilidade com o uso dos laboratórios <i>online</i>	121
Figura 36 - Boxplot das notas obtidas pelos alunos nas avaliações diagnóstica e conceitual	122
Figura 37 - Percentuais das questões da categoria Relevância do questionário IMMS	133
Figura 38 - Percentuais das questões da categoria Atenção do questionário IMMS	134
Figura 39 - Percentuais das questões da categoria Satisfação do questionário IMMS	135
Figura 40 - Percentuais das questões da categoria Confiança do questionário IMMS	136
Figura 41 - Boxplot dos valores obtidos em cada um dos aspectos motivacionais pesquisados	136
Figura 42 - Estratégias pedagógicas para ensino de circuitos elétricos baseadas em ciclos de aprendizagem experiencial	140
Figura 43 - Tela da aula expositiva <i>online</i> síncrona da professora do EFA	146
Figura 44 - Tela da aula expositiva <i>online</i> síncrona da professora do EFA	148
Figura 45 - Percentual de estudantes por estilo de aprendizagem – EFA	149
Figura 46 - Grade de estilo de aprendizagem – Pontos de dados de cada aluno	150
Figura 47 - Diagrama do Ciclo de Aprendizagem com o perfil dos estudantes (N = 23)	151
Figura 48 - Percentual de estudantes por estilo de aprendizagem – IFSC	152
Figura 49 - Grade de estilo de aprendizagem – Pontos de dados de cada aluno	152
Figura 50 - Diagrama do Ciclo de Aprendizagem com o perfil dos estudantes (N = 43)	153
Figura 51 - Gráfico boxplot para a comparação do número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual do ciclo 1	156
Figura 52 - Gráfico boxplot para a comparação do número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual do ciclo 2	159
Figura 53 - Gráfico boxplot para a comparação do número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual do ciclo 3	162

Figura 54 - Gráfico boxplot para a comparação do número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual geral.....	165
Figura 55 - Gráfico de boxplot para a comparação do número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual geral.....	167
Figura 56 - Gráfico de boxplot para a comparação do número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual geral dos alunos acomodadores.....	170
Figura 57 - Gráfico de boxplot para a comparação do número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual geral dos alunos assimiladores.....	171
Figura 58 - Gráfico de boxplot para a comparação do número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual geral dos alunos divergentes.....	172
Figura 59 - Gráfico de boxplot para a comparação do número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual geral dos alunos convergentes.....	174
Figura 60 - Gráfico de boxplot para a comparação do número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual geral dos alunos acomodadores.....	177
Figura 61 - Gráfico de boxplot para a comparação do número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual geral dos alunos assimiladores.....	178
Figura 62 - Gráfico de boxplot para a comparação do número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual geral dos alunos divergentes.....	179
Figura 63 - Gráfico de boxplot para a comparação do número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual geral dos alunos convergentes.....	180
Figura 64 - Questão 1 do teste de Silveira (1989).....	183
Figura 65 - Questão 2 do teste de Silveira (1989).....	183
Figura 66 - Questão 3 do teste de Silveira (1989).....	184
Figura 67 - Questão 5 do teste de Silveira (1989).....	186
Figura 68 - Questão 13 do teste de Silveira (1989).....	187
Figura 69 - Questões 4 e 6 do teste de Silveira (1989).....	187
Figura 70 - Questão 14 do teste de Silveira (1989).....	188
Figura 71 - Boxplot dos valores obtidos em cada um dos aspectos motivacionais pesquisados.....	191
Figura 72 - Boxplot dos valores obtidos em cada um dos aspectos motivacionais pesquisados – EFA.....	199
Figura 73 - Percentuais da categoria Relevância do questionário IMMS – EFA.....	201
Figura 74 - Percentuais da categoria Satisfação do questionário IMMS – EFA.....	203
Figura 75 - Percentuais da categoria Atenção do questionário IMMS – EFA.....	204

Figura 76 - Percentuais da categoria Confiança do questionário IMMS – EFA	206
Figura 77 - Boxplot dos valores obtidos em cada um dos aspectos motivacionais pesquisados – IFSC.....	208
Figura 78 - Percentuais da categoria Relevância do questionário IMMS – IFSC.....	211
Figura 79 - Percentuais da categoria Satisfação do questionário IMMS – IFSC	213
Figura 80 - Percentuais da categoria Atenção do questionário IMMS – IFSC	214
Figura 81 - Percentuais da categoria Confiança do questionário IMMS – IFSC	215

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Síntese das dificuldades conceituais e concepções alternativas identificadas na terceira coluna por [1] Duit e Von Rhöneck (1997), [2] McDermott e Shaffer (1992) e [3] Engelhardt e Beichner (2004).....	38
Tabela 2 - Sistematização de alguns estudos quanto às principais características de RA e resultados educacionais explorados.....	53
Tabela 3 - Critérios de exclusão e inclusão dos artigos para análise.....	56
Tabela 4 - Títulos e autores dos artigos encontrados sobre RA aplicada em Laboratórios Remotos.....	57
Tabela 5 - Frequência e publicações quanto ao seu enfoque.....	61
Tabela 6 - Tipos de tecnologias para o desenvolvimento dos laboratórios híbridos.....	62
Tabela 7 - Estilos de aprendizagem segundo Kolb e Fry (1975).....	76
Tabela 8 - Classificação da pesquisa.....	88
Tabela 9 - Varáveis, instrumentos de medida, tipos de análise e unidades pesquisadas.....	93
Tabela 10 - Número de estudantes que responderam o pré e pós-teste em cada um dos ciclos e na avaliação geral.....	95
Tabela 11 - Itens questionário <i>Instructional Materials Motivation Survey</i> (IMMS).....	99
Tabela 12 - Médias e valores do teste t de Student para as avaliações diagnóstica e conceitual.....	121
Tabela 13 - Estatísticas do gráfico Boxplot (Figura 36).....	122
Tabela 14 - Avaliação dos aspectos de pedagogia, relevância e usabilidade do Painel Elétrico CA Aumentado.....	125
Tabela 15 - Avaliação dos aspectos de pedagogia do LRA Painel Elétrico CA.....	126
Tabela 16 - Avaliação dos aspectos de ensino de Ciência do LRA Painel Elétrico CA.....	128
Tabela 17 - Avaliação dos aspectos de usabilidade do LRA Painel Elétrico CA.....	129
Tabela 18 - Valores médios e desvio padrão de cada aspecto avaliado por meio do questionário IMMS.....	132
Tabela 19 - Estatísticas do gráfico Boxplot das respostas do IMMS (Figura 41).....	137
Tabela 20 - Testes de normalidade dos dados coletados do instrumento de motivação IMMS.....	137
Tabela 21 - Resultado Teste-t para médias do questionário IMMS.....	138
Tabela 22 - Objetivos específicos a serem alcançados pelos alunos ao final do ensino de circuitos elétricos simples.....	141

Tabela 23 - Caracterização dos estudantes que responderam o pré e pós-teste primeiro ciclo	155
Tabela 24 - Médias e valores do teste t de <i>Student</i> para as avaliações diagnóstica e conceitual ciclo 1	155
Tabela 25 - Estatísticas do gráfico Boxplot (Figura 51)	157
Tabela 26 - Resumo dos resultados do ganho normalizado de Hake do primeiro ciclo	157
Tabela 27 - Caracterização dos estudantes que responderam o pré e pós-teste segundo ciclo	158
Tabela 28 - Médias e valores do teste t para as avaliações diagnóstica e conceitual do segundo ciclo	158
Tabela 29 - Estatísticas do gráfico Boxplot do Ciclo 2 (Figura 52)	159
Tabela 30 - Resumo dos resultados do ganho normalizado de Hake do segundo ciclo	160
Tabela 31 - Caracterização dos estudantes do EFA que responderam o pré e pós-teste terceiro ciclo	161
Tabela 32 - Médias e valores do teste t de Student para as avaliações diagnóstica e conceitual ciclo 3	161
Tabela 33 - Estatísticas do gráfico Boxplot (Figura 53)	162
Tabela 34 - Resumo dos resultados do ganho normalizado de Hake do Ciclo 3	163
Tabela 35 - Caracterização dos estudantes do EFA que responderam o pré e pós-teste geral	164
Tabela 36 - Médias e valores do teste t de Student para as avaliações diagnóstica e conceitual	164
Tabela 37 - Estatísticas do gráfico Boxplot da avaliação geral (Figura 54)	165
Tabela 38 - Resumo dos resultados do ganho normalizado de Hake avaliação geral	166
Tabela 39 - Caracterização dos estudantes do IFSC que responderam o pré e pós-teste geral	166
Tabela 40 - Médias e valores do teste t de Student para as avaliações diagnóstica e conceitual	166
Tabela 41 - Estatísticas do gráfico Boxplot da avaliação geral (Figura 55)	167
Tabela 42 - Resumo dos resultados do ganho normalizado de Hake – Avaliação geral	168
Tabela 43 - Valores médios e resultados do teste t de Student para a AD e AC	169
Tabela 44 - Estatísticas do gráfico Boxplot da avaliação geral (Figura 56)	170
Tabela 45 - Estatísticas do gráfico Boxplot da avaliação geral – Assimilador (Figura 57)....	171
Tabela 46 - Estatísticas do gráfico Boxplot da avaliação geral – Divergente (Figura 58)	173
Tabela 47 – Estatísticas do gráfico Boxplot da avaliação geral – Convergente (Figura 59) ..	174

Tabela 48 - Resumo dos resultados do ganho normalizado de Hake por estilo de aprendizagem	175
Tabela 49 - Valores médios e resultados do teste t de Student para a AD e AC	175
Tabela 50 - Estatísticas do gráfico Boxplot da avaliação geral (Figura 60)	177
Tabela 51 - Estatísticas do gráfico Boxplot da avaliação geral – Assimilador (Figura 61)....	178
Tabela 52 - Estatísticas do gráfico Boxplot da avaliação geral – Divergente (Figura 62)	179
Tabela 53 - Estatísticas do gráfico Boxplot da avaliação geral – Convergente (Figura 63)...	180
Tabela 54 - Resumo dos resultados do ganho normalizado de Hake por estilo de aprendizagem	181
Tabela 55 - Percentual de acertos dos alunos antes e após a intervenção em cada questão do questionário de Silveira (1989).....	181
Tabela 56 - Percentual de acertos antes e após a intervenção em cada questão do questionário de Silveira (1989), relacionadas aos objetivos de aprendizagem conforme Dorneles et al. (2010)	182
Tabela 57 - Valores médios e desvio padrão de cada aspecto avaliado por meio do questionário IMMS	190
Tabela 58 - Estatísticas do gráfico Boxplot das respostas do IMMS (Figura 71)	191
Tabela 59 - Testes de normalidade dos dados coletados do instrumento de motivação IMMS – Geral	192
Tabela 60 - Resultado testes estatísticos para médias do questionário IMMS – Geral	193
Tabela 61 - Escores médios dos níveis de motivação por turma	193
Tabela 62 - Testes de normalidade dos dados coletados do instrumento de motivação IMMS – Geral	194
Tabela 63 - Resultados dos testes estatísticos dos dados do questionário IMMS por unidade de análise	194
Tabela 64 - Escores médios dos níveis de motivação por gênero	195
Tabela 65 - Testes de normalidade dos dados coletados do instrumento de motivação IMMS – Gênero	195
Tabela 66 - Resultados testes estatísticos dos dados do IMMS por sexo – Geral	196
Tabela 67 - Escores médios dos níveis de motivação por estilo de aprendizagem	196
Tabela 68 - Testes de normalidade dos dados coletados do instrumento de motivação IMMS	197
Tabela 69 - Resultados do teste Kruskal Wallis dos dados para o IMMS por estilo de aprendizagem.....	197

Tabela 70 - Valores médios e desvio padrão de cada aspecto avaliado por meio do questionário IMMS	198
Tabela 71 - Estatísticas do gráfico Boxplot das respostas do IMMS (Figura 72)	199
Tabela 72 - Principais pontos levantados pelos alunos conforme o estilo de aprendizagem .	206
Tabela 73 - Valores médios e desvio padrão de cada aspecto avaliado por meio do questionário IMMS – IFSC	207
Tabela 74 - Estatísticas do gráfico Boxplot das respostas do IMMS – IFSC (Figura 77).....	208
Tabela 75 - Principais pontos levantados pelos alunos divergentes	217
Tabela 76 - Principais pontos levantados pelos alunos acomodadores	217
Tabela 77 - Principais pontos levantados pelos alunos assimiladores.....	218

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Objetivos de aprendizagem a serem alcançados pelos alunos ao fim do primeiro ciclo	142
Quadro 2 - Objetivos de aprendizagem a serem alcançados pelos alunos ao fim do segundo ciclo	145
Quadro 3 - Objetivos de aprendizagem a serem alcançados pelos alunos ao fim do terceiro ciclo	147

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BDTD	Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CA	Conceituação abstrata
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
EA	Experimentação ativa
EC	Experimentação concreta
EJS	Easy Java Simulations
ELT	Teoria da Aprendizagem Experiencial
ERE	Ensino Remoto Emergencial
FPGA	Field Programmable Gate Array
Go-Lab	Global Online Science Labs for Inquiry Learning at School
GT-MRE	Grupo de trabalho em experimentação remota
HTTP	HyperText Transfer Protocol
IFRS	Instituto Federal do Rio Grande do Sul
IFSC	Instituto Federal de Santa Catarina
ILS	Inquiry learning spaces
IoT	Internet das Coisas
KLSI	Inventário de Estilos de Aprendizagem Kolb
LR	Laboratório Remoto
LRA	Laboratório Remoto Aumentado
LV	Laboratório Virtual
MQTT	Message Queue Telemetry Transport
MRLE	Ambientes de Aprendizagem de Realidade Mista
NUI	Natural User Interfaces
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OR	Observação reflexiva
PISA	Programme for International Student Assessment
PLC	Controlador Lógico Programável
RA	Realidade Aumentada
RELLE	Remote Labs Learning Environment
Rexlab	Laboratório de Experimentação Remota
RNP	Rede Nacional de Ensino e Pesquisa

RSL	Revisão sistemática da literatura
SEM	Modelagem de equações de estrutura
SIGAA	Ambiente Virtual de Aprendizagem
SSCC	Detecção, armazenamento, computação e comunicação
STEM	Science, Technology, Engineering, Mathematics
TCP	Transmission Control Protocol
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação
UDP	User Datagram Protocol
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UNED	Universidade Nacional de Educação a Distância da Espanha
VCL	Virtual Computer Laboratories
VISIR	Virtual Instrument Systems In Reality

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	21
1.1 O Ensino Remoto Emergencial durante a pandemia da Covid-19	24
1.2 Desafios no ensino de Física	29
1.3 A importância da experimentação no ensino de Física e a necessidade de estratégias pedagógicas na prática laboratorial.....	31
1.4 Objetivo Geral.....	35
1.4.1 <i>Objetivos específicos</i>	<i>35</i>
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	36
2.1 Dificuldades de aprendizagem em circuitos elétricos simples	36
2.2 Laboratórios Online.....	39
2.2.1 <i>Laboratórios Virtuais.....</i>	<i>41</i>
2.2.2 <i>Laboratórios Remotos</i>	<i>44</i>
2.2.3 <i>Laboratórios Híbridos.....</i>	<i>48</i>
2.2.3.1 <i>Realidade Aumentada.....</i>	<i>49</i>
2.2.3.2 <i>Laboratório Remoto Aumentado</i>	<i>54</i>
2.2.3.2.1 <i>Detalhamento dos trabalhos relacionados</i>	<i>62</i>
2.2.3.2.2 <i>Lacunas e tendências no desenvolvimento de Laboratórios Remotos Aumentados</i>	<i>68</i>
2.3 Teoria da Aprendizagem Experiencial.....	70
2.3.1 <i>Estilos de aprendizagem.....</i>	<i>75</i>
2.3.2 <i>Ciclo de aprendizagem experiencial de Kolb.....</i>	<i>77</i>
2.3.3 <i>A Teoria de Aprendizagem Experiencial na prática laboratorial</i>	<i>81</i>
3. MÉTODO DE PESQUISA.....	87
3.1 Etapas da pesquisa.....	89
3.2 Detalhamento dos materiais e métodos do estudo final	92
3.2.1 <i>Instrumento de Coleta e Análise de Dados.....</i>	<i>93</i>
3.2.1.1 <i>Inventário de Estilos de Aprendizagem Kolb.....</i>	<i>96</i>
3.2.1.2 <i>Instructional Materials Motivation Survey (IMMS)</i>	<i>97</i>
3.3 Desenvolvimento do Laboratório Remoto Aumentado	102
3.3.1 <i>Arquitetura dos Laboratórios Remotos disponibilizados pelo Rexlab</i>	<i>104</i>
3.3.2 <i>Arquitetura desenvolvida para o Laboratório Remoto Aumentado utilizando Laboratório Remoto do Rexlab.....</i>	<i>105</i>
4. RESULTADOS	109
4.1 Primeiro estudo: validação do Laboratório Remoto Aumentado desenvolvido .	109
4.1.1 <i>Percepções dos alunos do ensino superior ao utilizar o laboratório remoto aumentado.....</i>	<i>109</i>
4.1.2 <i>Percepções dos alunos do ensino médio técnico ao utilizar o laboratório remoto aumentado.....</i>	<i>115</i>
4.2 Segundo estudo: avaliação pedagógica do Laboratório Remoto Aumentado.....	123
4.2.1 <i>Avaliação pedagógica do Laboratório Remoto Aumentado por futuros professores</i>	<i>124</i>
4.3 Terceiro estudo: uso do Laboratório Remoto Aumentado no ERE	130
4.3.1 <i>Motivação dos alunos do ensino médio técnico para utilizar o laboratório remoto aumentado no ERE.....</i>	<i>132</i>
4.4 Estudo final: o uso de laboratório remoto, virtual e remoto aumentado para apoiar a aprendizagem experiencial de circuitos elétricos.....	139
4.4.1 <i>Ciclos de Aprendizagem Experiencial aplicados no Ensino Remoto Emergencia.....</i>	<i>139</i>

4.4.1.1	Ciclo de Aprendizagem Experiencial: Introdução aos Circuitos Elétricos.....	142
4.4.1.2	Ciclo de Aprendizagem Experiencial: Estudo dos resistores	144
4.4.1.3	Ciclo de Aprendizagem Experiencial: Associação de resistores	146
4.4.2	<i>Mapeamento dos estilos de aprendizagem dos estudantes.....</i>	<i>149</i>
4.4.3	<i>Desempenho conceitual dos estudantes com o uso do Ciclo de Kolb apoiado por Laboratórios Online.....</i>	<i>153</i>
4.4.3.1	Resultados por ciclo de aprendizagem	154
4.4.3.2	Resultados do desempenho conceitual geral	163
4.4.3.3	Estilo de aprendizagem e desempenho conceitual	168
4.4.3.3.1	Desempenho conceitual por estilo de aprendizagem dos alunos do 3º ano do ensino médio do Centro de Educação Básica Francisco de Assis.....	168
4.4.3.3.2	Desempenho conceitual por estilo de aprendizagem dos alunos do 1º ano do curso técnico de nível médio em Eletromecânica do Instituto Federal de Santa Catarina.....	175
4.4.3.4	Análise detalhada das respostas aos questionários	181
4.4.4	<i>Motivação dos estudantes com o uso do Ciclo de Kolb apoiado por Laboratórios Online.....</i>	<i>189</i>
4.4.4.1	Análises estatísticas da avaliação dos níveis de motivação dos estudantes após a intervenção.....	190
4.4.4.2	Terceiro ano do ensino médio: Centro de Educação Básica Francisco de Assis.....	198
4.4.4.3	Curso técnico de ensino médio em Eletromecânica: Instituto Federal de Santa Catarina	207
4.4.5	<i>Discussão dos resultados.....</i>	<i>218</i>
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	229
5.1	Limitações e Trabalhos Futuros	231
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	233
	APÊNDICE A - PUBLICAÇÕES.....	246
	APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	248
	ANEXO A - AUTORIZAÇÃO PARA UTILIZAÇÃO DO KLSI 3.1	249
	ANEXO B - INSTRUCTIONAL MATERIALS MOTIVATION SURVEY (IMMS).....	251

1. INTRODUÇÃO

Os processos educacionais atuais estão submetidos a contínuas mudanças, fruto da complexidade e da diversidade que caracterizam a sociedade contemporânea. Da mesma forma, o crescente e contínuo desenvolvimento das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) tem transformado o perfil dos estudantes, ao mesmo tempo que permite novas maneiras de construção de conhecimentos.

Neste contexto, a produção de material educacional para plataformas digitais se constitui em uma característica importante para reter a atenção dos alunos e para alcançar resultados positivos durante os processos de ensino e aprendizagem. Assim, atualmente, é preciso refletir sobre o aproveitamento de plataformas digitais e interativas que permitam a utilização de recursos como *Mobile Learning*, jogos digitais, realidade virtual e aumentada, entre outros recursos que apoiem os docentes na sua prática pedagógica.

Particularmente, para as disciplinas STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*, acrônimo em inglês para Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática), a evolução da tecnologia oferece oportunidades para o surgimento de novas formas de laboratórios práticos de ensino, tais como os Laboratórios Virtuais (LV) e Remotos (LR) – que nos últimos anos tornaram-se um campo interessante de estudos, possibilitando a superação de certas limitações dos laboratórios práticos tradicionais, como: alto custo, disponibilidade limitada, manutenção cara, impossibilidade de elicitar determinados comportamentos ou aspectos dos fenômenos estudados, etc. (LASICA et al., 2016).

Os Laboratórios Virtuais (LV) são baseados em simulações, nas quais os alunos manipulam representações computacionais de fenômenos reais. Conforme Rodriguez-Gil et al. (2017), esses laboratórios se destacam por não requererem espaço físico para armazenamento, por serem altamente escalonáveis e terem poder de adaptação às diferentes necessidades de ensino, podendo simplificar ou exibir fenômenos não observáveis. Já os Laboratórios Remotos (LR) permitem que os estudantes manipulem experimentos reais, assim como os laboratórios práticos presenciais, porém a distância – e esse acesso é realizado por meio de alguma interface que realiza a mediação entre o aluno e o equipamento.

A principal vantagem dos LR, em relação aos LV, é a obtenção de um *feedback* real; ou seja, as informações fornecidas por esses sistemas são derivadas de componentes reais, e não obtidas a partir de cálculos teóricos baseados em modelos matemáticos. Dessa forma, com os laboratórios remotos, os estudantes precisam considerar possíveis variações e erros do instrumento que são comuns nas práticas no mundo real (RODRIGUEZ-GIL et al., 2017).

Da mesma forma, laboratórios remotos possuem limitações inerentes, uma vez que a exibição dos experimentos via transmissão *online* pode limitar a visualização de aspectos relevantes do que se está a fazer. Para Vargas et al. (2013), o fluxo de vídeo disponibilizado em laboratório remoto é um *feedback* simplificado que nem sempre permite a total exploração da experiência. Outra limitação é quanto às áreas do conhecimento que esses laboratórios conseguem explorar – áreas como Química ou Biologia são difíceis para experiências remotas, devido às suas complexidades (MÁRQUEZ et al., 2017). Além disso, apesar de permitir o manuseio de equipamentos reais, a falta de contato físico direto pode ser considerada uma desvantagem, pois pode reduzir a sensação de realismo e, conseqüentemente, influenciar na motivação e no engajamento dos estudantes.

Diante disso, estudos nessa área têm apontado a necessidade de exploração do maior número possível de alternativas em termos de laboratórios para práticas experimentais, oportunizando assim momentos de aprendizagem variados e que permitam diferentes estratégias de interatividade. Segundo Rodriguez-Gil et al. (2017), há anos educadores debatem sobre qual tipo de laboratório é mais eficaz. Embora nenhum consenso tenha sido alcançado, as pesquisas sugerem que laboratórios virtuais e remotos podem ser tão eficazes quanto os laboratórios práticos tradicionais. Por esse motivo, destaca-se a importância da combinação eficiente de diferentes tipos de laboratórios, visando ao enriquecimento das práticas pedagógicas (LASICA et al., 2016).

Por exemplo: ao utilizar um laboratório virtual, o aluno conhece uma maneira de praticar o procedimento laboratorial dentro de parâmetros ideais, além de poder observar fenômenos impossíveis de serem avaliados em mundo real; enquanto isso, o laboratório remoto permite que o professor trabalhe com valores reais, aplicando a teoria em uma situação real. Se a instituição de ensino dispõe de laboratório real, todos esses recursos podem ser utilizados como preparação para a uma sessão de laboratório real ou como forma de transcender essas experiências para fora da sala de aula, ampliando a experimentação, oferecendo momentos para interpretação e reflexão sobre os conceitos aprendidos (ABDULWAHED; NAGY, 2009).

Em estudos recentes, surge ainda uma nova categoria de laboratórios *online*: os Laboratórios Híbridos. Esses laboratórios buscam misturar elementos virtuais e remotos em um único laboratório, na tentativa de aproveitar as vantagens proporcionadas por cada um desses modelos – o LR com acesso a sistemas reais, acrescentados de objetos virtuais, que permitem que novas informações sejam extraídas do experimento (RODRIGUEZ-GIL et al., 2017).

Nesse contexto, a tecnologia de Realidade Aumentada (RA) tem sido utilizada nesse novo formato de laboratório. A combinação de técnicas de RA com os Laboratórios Remotos

pode auxiliar a superar suas limitações, oferecendo uma visualização aumentada do experimento. A RA ratifica este modelo ao ser conceituada como um processo de sobreposição, no mundo real, de dados gerados por computador, ampliando assim o acesso à informação, gerando novas oportunidades de interação (AZUMA et al., 2001; MILGRAM; KISHINO, 1994).

No campo educacional, a RA vem sendo estudada com o objetivo de proporcionar experiências tecnológicas de aprendizagem visualmente mais atraentes em diversas áreas do conhecimento, permitindo que conceitos que são ensinados em aulas tradicionais possam ser compreendidos de melhor forma, com o uso da multimídia interativa e da experiência prática (FRANK; KAPILA, 2017; JOHNSON et al., 2016).

Conforme Herpich (2019), a partir da sobreposição no mundo real de recursos virtuais – como imagens, vídeos, textos, objetos 3D, áudios e simulações – é possível criar soluções educacionais que contribuam na compreensão de fenômenos complexos. As principais vantagens do uso da RA para o ensino abrangem o fornecimento de informações contextualizadas, a visualização de fenômenos invisíveis e a interação com objetos 3D integrados no mundo real, favorecendo para a motivação, para o engajamento e atitude em relação às disciplinas que exigem maior nível de abstração, tais como as que envolvem as áreas STEM (HERPICH, 2019; IBÁÑEZ et al., 2016).

Diante disso, percebeu-se que a disponibilização de laboratórios híbridos com uso da RA pode acarretar em aplicações sofisticadas, suprimindo limitações dos laboratórios remotos, oferecendo visibilidade virtual a componentes reais, que por vezes são difíceis de ser apresentados em um *streaming* de vídeo comum aos LR. Além disso, permite incluir informações extras, a fim de representar algum elemento abstrato impossível de verificar mesmo em laboratórios tradicionais. Com isso, um novo leque para a experimentação remota se apresenta, expandindo suas possibilidades e criando novas formas de experimentação.

Outro benefício gerado pelo uso de RA em laboratórios remotos é o reaproveitamento dos recursos físicos. Por meio da RA, um laboratório remoto pode ser expandido, reduzido ou modificado, fazendo com que um mesmo experimento seja usado para diferentes objetivos educacionais, sem a necessidade de modificar o ambiente físico (MEJÍAS; ANDÚJAR, 2012; RODRIGUEZ-GIL et al., 2017). Em outras palavras, um mesmo componente físico pode ser formado por diferentes objetos virtuais, gerando variadas configurações de experimentação, uma vez que certos equipamentos são substituídos por elementos virtuais que só aparecem se um experimento específico exigir.

Com isso, conforme Vargas et al. (2013), os Laboratórios Remotos de Realidade

Aumentada, também conhecidos como Laboratórios Remotos Aumentados¹ (LRA), produzem um valor agregado para a experimentação remota, aumentando a sensação de presença e de realidade, ajudando a entender melhor os conceitos em estudo, além de expandir as possibilidades da experimentação remota (ODEH; SHANAB; ANABTAWI, 2015; VARGAS et al., 2013).

Os laboratórios virtuais e remotos são tecnologias conhecidas e já é possível encontrar esses recursos para o ensino de conceitos de diferentes áreas do conhecimento. Já os laboratórios híbridos são tecnologias emergentes – e seus estudos, desenvolvimento e disponibilização ainda são incipientes. Com isso, essa investigação contempla o desenvolvimento de um Laboratório Remoto Aumentado, a fim de explorar diferentes tipos de laboratórios *online* (virtual, remoto e remoto aumentado) para o ensino de circuitos elétricos, a partir de estratégias pedagógicas baseadas na Teoria de Aprendizagem Experiencial de David Kolb.

A pesquisa realizada no âmbito dessa tese teve como cenário a pandemia da Covid-19, deflagrada em meados de 2020. Nesse período, o Ensino Remoto Emergencial (ERE) substituiu o ensino presencial tradicional e tornou-se o principal método de ensino. Diante disso, a próxima seção (1.1) apresenta a modalidade de ERE, bem como as implicações dessas mudanças nos processos de ensino e aprendizagem na educação básica.

1.1 O Ensino Remoto Emergencial durante a pandemia da Covid-19

Devido à pandemia da Covid-19, o ensino remoto emergencial tornou-se o principal método de ensino durante os anos de 2020 e parte do ano de 2021. Crianças e adolescentes não puderam comparecer às escolas nesse período, a fim de evitar a transmissão do vírus da Covid-19. Dessa forma, governos de todo o mundo tiveram que estabelecer estratégias para que os processos de ensino e aprendizagem pudessem continuar ocorrendo de forma não presencial, para minimizar o impacto no desenvolvimento escolar dos alunos e não comprometer o calendário letivo.

Especialistas estabelecem que a pandemia causou e ainda causará novos impactos na educação (SCHLEICHER, 2020), mesmo que ainda não seja possível dimensionar a gravidade de alguns desses reflexos e/ou os visualizar no futuro. Alguns dados que corroboram com essa

¹ Termo cunhado por Andujar, Mejías e Marquez (2011) para denominar laboratórios remotos que utilizam técnicas de realidade aumentada.

discussão são apresentados pela Organização das Nações Unidas (2020): no início de abril de 2020, 94% dos alunos em todo o mundo foram afetados pela pandemia – representando 1,58 bilhão de indivíduos, do pré-primário ao ensino superior, em 200 países.

Uma das alternativas adotadas por instituições de ensino consiste no uso de sistemas de aprendizagem baseados nas novas tecnologias, empregados com o objetivo de mitigar os impactos transitórios e o futuro da pandemia aos estudantes (HODGES et al., 2020). Relatórios da OECD (SCHLEICHER, 2020) e ONU (UN, August 2020) descrevem metodologias, estratégias e tecnologias utilizadas para transpor o conhecimento da sala de aula até o estudante, tais como educação em rádio e televisão, pacotes instrucionais e recursos online, entre outras.

O governo brasileiro estabeleceu que as atividades não presenciais fossem implementadas, principalmente pelo uso das tecnologias digitais de informação e comunicação; entretanto, cada escola ou sistema de ensino deveria considerar a desigualdade estrutural e as diferenças existentes em relação às condições de acesso ao mundo digital por parte dos estudantes e dos professores (BRASIL, 2020).

O Ministério da Educação (MEC) iniciou, em março de 2020, uma discussão com o objetivo de reorganizar as atividades educacionais, a fim de “minimizar os impactos das medidas de isolamento social na aprendizagem dos estudantes, considerando a longa duração da suspensão das atividades educacionais de forma presencial nos ambientes escolares” (BRASIL, 2020). Assim, as atividades pedagógicas não presenciais nesse período poderiam ser utilizadas em caráter excepcional, para integralização da carga horária das atividades pedagógicas quando ocorresse a suspensão das atividades letivas presenciais por determinação das autoridades locais e condições sanitárias locais que pudessem trazer riscos à segurança (BRASIL, 2020a; 2020b; 2020c).

Nesse sentido, a tecnologia no período de pandemia tem um papel fundamental no processo de aquisição de conhecimento, pois permite a promoção de ações que contribuem para a continuidade das atividades educacionais, mantendo o distanciamento social necessário. Assim, é essencial a adoção de tecnologias variadas, permitindo a comunicação, a interação e a avaliação dos estudantes, mesmo eles estando afastados da escola.

Como mencionado, diversas questões estão envolvidas nesse processo, como: renda familiar, disponibilidade de equipamentos tecnológicos e desigualdade social. São parâmetros relevantes para que o ensino remoto mediado pelas novas tecnologias possa acontecer. Entretanto, a utilização da tecnologia nesse momento se tornou estratégia indispensável para que a maioria das instituições de ensino pudesse prosseguir com seus processos de ensino e aprendizagem.

Com isso, mediado pelas tecnologias, muitas escolas públicas e privadas implementaram o Ensino Remoto Emergencial (ERE), que foi aplicado durante os anos de 2020 e 2021. O ERE, segundo Hodges et al. (2020), pode ser entendido como o uso de soluções de ensino totalmente remotas que, de outra forma, seriam ministradas pessoalmente ou em forma híbrida, e que retornarão a esse formato assim que a crise ou emergência tiver diminuído. É importante salientar que o objetivo principal nessas circunstâncias não é recriar um ecossistema educacional robusto, assim como é a modalidade de Educação a Distância; mas, sim, fornecer acesso temporário à educação de uma maneira que seja rápida de configurar e que esteja disponível de maneira confiável durante uma crise (HODGES et al., 2020).

Por esse motivo, Hodges et al. (2020) explica que o ERE não pode ser confundido com outras modalidades de ensino que são estudadas há décadas e que possuem um ecossistema formalizado e regulamentado – com modelos, padrões e critérios de avaliação bem definidos, como é o caso da Educação a Distância. Pela emergência apresentada pelo atual contexto, sabe-se que o processo de projeto cuidadoso possivelmente não estará presente na maioria dos casos nessas mudanças de emergência.

Nesse período, os recursos tecnológicos mais explorados pelos professores foram as plataformas de videoconferência para aulas ao vivo (momentos síncronos) e a disponibilização de videoaulas gravadas, de podcasts e de materiais em texto (momentos assíncronos) (MOREIRA; HENRIQUES; BARROS, 2020). No entanto, conforme Moreira, Henriques e Barros (2020, p. 352) “na maioria dos casos, estas tecnologias foram e estão sendo utilizadas numa perspectiva meramente instrumental, reduzindo as metodologias e as práticas a um ensino apenas transmissivo”.

Além disso, a transformação que o ensino remoto emergencial representou nos processos de ensino e aprendizagem trouxe diferentes implicações na vida escolar dos estudantes do ensino básico. Crianças e adolescentes que nunca tinham experimentado o ensino não presencial, seja ele *offline* ou totalmente mediado pelas novas tecnologias, tiveram que, repentinamente, se reajustar a esse novo formato de aprender. Nesse contexto, aspectos como apoio dos pais, problemas técnicos e habilidades de autogestão afetam diretamente o desempenho acadêmico (LASSOUED; ALHENDAWI; BASHITIALSHAAER, 2020).

Uma pesquisa desenvolvida pelo Instituto Datafolha, a pedido da Fundação Lemann, Itaú Social e Imaginable Futures, da qual participaram pais ou responsáveis de alunos (de 6 a 18 anos) de escolas públicas, durante o segundo semestre de 2020, mostrou que as atividades educacionais remotas estão levando os estudantes a se sentirem mais desmotivados à medida que o tempo de isolamento permanece. Conforme o estudo, o percentual de alunos

desmotivados em maio de 2020 era de 46%, passando para 55% em novembro do mesmo ano. O estudo também verificou a percepção dos pais e responsáveis das dificuldades de estabelecer uma rotina de aprendizagem em casa. O percentual também aumentou de maio a novembro, passando de 58% para 69% (INSTITUTO DATAFOLHA, 2020).

Nesse sentido, Wang et al. (2021) identificaram três principais problemas educacionais decorrente da mudança repentina nas formas de aprender durante a pandemia: a dificuldade para estudar em casa, antipatia pelo aprendizado remoto e tempo excessivo de entretenimento nas telas (smartphone e televisões). Além disso, o estudo destacou a importância do apoio dos pais nesse processo. Os alunos que apresentaram dificuldades de relacionamento com os pais apresentaram sintomas depressivos associados às dificuldades de aprendizagem.

No estudo realizado por Hebecci, Bertiz e Alan (2020) com alunos da China, os principais desafios educacionais identificados foram monotonia, lições simples, falta de foco, desmotivação, problemas técnicos, tempo de aula síncrona insuficiente e aula inadequadas para o ambiente *online*. Entre as vantagens apresentadas pelos alunos, estão o conforto de estudar em casa e a diversidade de recursos tecnológicos que puderam explorar em algumas disciplinas. No estudo brasileiro de Café e Seluchinsk (2020), os alunos do 3º ano do ensino médio sinalizaram estar desinteressados, desmotivados e perdidos nos estudos remotos – além de quase 50% dos estudantes declararem que, em algum momento, desejaram abandonar as aulas.

O abandono do ensino, a reprovação e a distorção entre idade e série escolar são desafios já conhecidos no cenário educacional brasileiro, principalmente no ensino médio. Dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (Pnad Contínua), desenvolvida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), indicavam que, em 2019, 89,2% dos jovens entre 15 e 17 anos de idade estavam nas escolas; entretanto, apenas 71,4% desses estudantes estavam matriculados no ensino médio na idade correta. Isso significa que 17,8% dos adolescentes desta faixa etária ainda cursavam o ensino fundamental e que mais de 10% já abandonaram seus estudos (IBGE, 2020). Conforme a Meta 3 do PNE (Plano Nacional de Educação), a universalização do atendimento escolar para a população de 15 a 17 anos era para ter acontecido até o ano de 2016 (PNE/MEC, 2014).

Com a pandemia da Covid-19, essa realidade foi acentuada. Conforme estudo realizado pela Unicef (Fundo de Emergência Internacional das Nações Unidas para Infância), em 2021 cerca de 5,5 milhões de crianças e adolescentes não tiveram acesso à educação. A quantidade de alunos com idades entre 6 e 17 anos que abandonaram as instituições de ensino foi de 1,38 milhão – o que representa 3,8% dos estudantes, percentual superior à média nacional de 2019, que foi de 2%, segundo dados da Pnad Contínua (IBGE, 2020; UNICEF, 2021).

A preocupação com o abandono escolar durante a pandemia é evidenciada na pesquisa do Instituto Datafolha, a qual apresentou que 30% dos pais e responsáveis relataram ter medo de que os filhos abandonassem a escola em razão das transformações enfrentadas para estudar durante a pandemia (INSTITUTO DATAFOLHA, 2020).

Em razão da longa duração da crise sanitária e da necessidade de se manter o isolamento social durante os dois últimos anos, foi necessário repensar o ensino remoto de emergência para uma educação digital de qualidade, a fim de mitigar os impactos gerados na aprendizagem dos estudantes. Para Moreira, Henriques e Barros (2020, p. 352), “mais do que a transferência de práticas presenciais urge agora criar modelos de aprendizagem virtuais que incorporem processos de desconstrução e que promovam ambientes de aprendizagem colaborativos e construtivistas nas plataformas escolhidas”.

Nessa perspectiva, as soluções encontradas em um primeiro momento para o ensino remoto possibilitam desempenhar predominantemente conteúdos teóricos, não contemplando suficientemente aqueles conhecimentos práticos que exigem a experimentação por parte do aluno. Em disciplinas que envolvam as áreas STEM, a ausência da experimentação pode dificultar na compreensão de uma série de analogias e inferências necessárias à abstração das leis científicas – consequentemente, influenciando negativamente em fatores motivacionais que envolvem nível de atenção, curiosidade, percepção de relevância do assunto ensinado, desempenho e satisfação.

Nesse sentido, explorar recursos tecnológicos diversificados e atrativos de aprendizagem remota para potencializar o ensino, por meio do uso de estratégias condizentes com o ambiente digital, é essencial para envolver os alunos nesse novo ambiente de aprendizado remoto. Diversos estudos ao longo dos últimos anos trazem importantes soluções tecnológicas e estratégias pedagógicas que têm potencial para enriquecer os processos de ensino e aprendizagem. Antes pensados para o ensino híbrido ou para a educação a distância, hoje têm potencial para serem explorados no ensino remoto. É o caso dos laboratórios *online* (remotos, virtuais ou híbridos), que oferecem meios de ensinar, de apoiar e de motivar os alunos em um ambiente de aprendizado remoto.

Estudos que exploram esses recursos para o ensino identificam que os laboratórios *online* possuem vantagens como: a não restrição nem de tempo e nem de espaço, o que engaja e traz conforto aos alunos no seu processo de construção de conhecimento; a possibilidade de interação com equipamentos reais, trazendo motivação aos estudantes que utilizam esses recursos; o custo baixo de montagem, utilização e manutenção por parte das instituições de ensino; o benefício de ser aplicável para o ensino de diferentes áreas do conhecimento (DE

JONG; SOTIRIOU; GILLET, 2014; MA; NICKERSON, 2006; SIMÃO et al., 2016; ZUBÍA et al., 2017). Vantagens essas que podem ser explorados no ERE, durante uma crise sanitária.

O uso de laboratórios *online* tem apresentado resultados promissores na aquisição de conhecimento em áreas relacionadas a STEM. O que torna essas tecnologias atraentes é o fato de não haver algumas das limitações frequentemente encontradas em laboratórios reais, como altos custos, disponibilidade limitada e preço elevado de manutenção, além de serem úteis em situações extremas, como a vivenciada atualmente – em que a pandemia inviabiliza a presença dos estudantes em uma sala de laboratório.

Essas tecnologias são capazes de complementar algumas das carências evidenciadas em sistemas de aprendizagem que se baseiam predominantemente na teoria. Os laboratórios *online* podem oferecer aos alunos a oportunidade de projetar, conduzir e aprender com os experimentos, em vez de apenas aprender sobre eles (SCHLEICHER, 2020). Desta forma, possibilitam que um maior número de alunos obtenha conhecimentos práticos, no momento em que for mais conveniente, uma vez que são disponibilizados através da internet.

1.2 Desafios no ensino de Física

O panorama apresentado no PISA 2018 (Programa Internacional de Avaliação de Estudantes) demonstra que os estudantes brasileiros apresentam dificuldades quanto aos conhecimentos relacionados a Ciências. O país permanece nas últimas posições no ranking geral, caindo da posição 63^a para a 67^a. A média dos estudantes brasileiros foi de 404 pontos, ante a uma média de 489 dos países pertencentes da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). Além disso, mais de 55% desses estudantes estão abaixo do nível 2 – nível este considerado pela OCDE como necessário para que os jovens possam exercer plenamente sua cidadania; e apenas 1% alcançou o nível 5, que é o estágio mais avançado (OCDE, 2019). O desempenho do Brasil é semelhante ao de seus vizinhos da América Latina (Latam), mas fica atrás de Chile, Costa Rica, México e Uruguai.

Ainda a partir dos resultados do Pisa é possível identificar as estratégias que os alunos usam para aprender. Alunos que costumam usar técnicas de memorização têm maior probabilidade de responder corretamente a perguntas fáceis; já aqueles que usam estratégias mais elaboradas, como tentar conectar conceitos, têm maior chance de responder corretamente a questões mais difíceis. Com isso, é possível evidenciar que os alunos brasileiros optam, predominantemente, por estratégias de memorização e repetição em vez de estratégias de aprendizagem mais elaboradas (OCDE, 2019).

Nesse sentido, o estudo realizado por Cima et al. (2017), com supervisores escolares de escolas particulares de Porto Alegre, no Rio Grande do Sul, revelou que os estudantes apresentam uma redução de interesse pela Física na transição do ensino fundamental (1º ao 9º ano) para o ensino médio (1ª a 3ª séries). Segundo os autores, isso se dá, principalmente, pela forma como o ensino de Física ocorre em cada uma dessas etapas escolares. No nível fundamental, o ensino acontece de forma contextualizada, experimental, investigativa, diversificada e fundada na relação afetiva entre professores e estudantes, o que “desperta o gosto e o interesse dos estudantes pela Física” (CIMA, 2017, p. 385). Já no ensino médio existe uma mudança de atitude do professor, prevalecendo o ensino teórico, com ênfase na disciplinarização, matematização e memorização – pautado, principalmente, na preparação para vestibulares e Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) (CIMA et al., 2017).

A falta da experimentação para o ensino de uma ciência que é eminentemente experimental (ANTONIO et al., 2016; ORTH, 2016); currículos inapropriados e extensos (SADERA; TORRES; ROGAYAN JR, 2020); fraca contextualização com a realidade (CIMA et al., 2017; MOREIRA, 2018); uso inadequado dos livros didáticos (ANDERMAN; SINATRA; GRAY, 2012; REBELO et al., 2014); e professores desvalorizados (KAPTAN; TIMURLLENK, 2012), são algumas das causas apontadas pelos especialistas para o baixo rendimento na aprendizagem de Física – no Brasil e no mundo.

Para Moreira (2018), o ensino centrado no docente, puramente teórico, com foco na memorização de fórmulas, gera uma indisposição tão forte que os alunos “chegam a dizer, metaforicamente, que “odeiam” a Física”, conseqüentemente, esse comportamento frente a disciplina leva a maus resultados. O autor afirma ainda que recursos tecnológicos, tais como os laboratórios *online*, “deveriam estar naturalmente integrados ao ensino de Física no século XXI”, e a “principal razão da não incorporação das TIC no ensino de Física na atualidade é o foco no treinamento para as provas, a ênfase nas “respostas corretas”, no emprego de fórmulas para resolver problemas conhecidos” (MOREIRA, 2018, p. 76).

Nesta perspectiva, a disposição tradicional de sala de aula – que tem como figura central o professor e como recurso de apoio o livro didático, e a conseqüente falta de atividades práticas significativas – cria um abismo entre princípios considerados relevantes para a aprendizagem, como os processos de vivenciar, refletir, pensar e agir, impossibilitando que o estudante seja capaz de experienciar o conteúdo, fazer generalizações e aplicar em novas situações.

Inácio et al. (2020) investigou o desempenho de 944 estudantes das três etapas do ensino médio, referente aos conhecimentos básicos de Física. Os autores evidenciaram um rendimento inferior à 30% em todos os anos, sendo que a diferença entre o primeiro e segundo ano não

passou de 2%, e do segundo ano para o terceiro ano foi de apenas 1%. Para os autores, esses resultados podem estar relacionados ao alto índice de reprovação e abandono nos componentes curriculares de Física do primeiro semestre dos cursos de Engenharia de Alimentos, Engenharia de Energia, Engenharia de Produção, Engenharia Química e Licenciatura em Física do Campus Bagé da Universidade Federal.

Nesse sentido, é importante salientar que a Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática são áreas extremamente importantes para o desenvolvimento de uma nação, pois desenvolvem habilidades necessárias para dar respostas aos avanços da ciência e da tecnologia da sociedade atual. As qualificações nas disciplinas destas áreas desempenham um papel essencial em uma ampla gama de ocupações do atual século – sendo a inovação, a pesquisa e as mudanças tecnológicas peças “chaves” para o desenvolvimento dos países.

1.3 A importância da experimentação no ensino de Física e a necessidade de estratégias pedagógicas na prática laboratorial

É indiscutível que aparatos experimentais constituem uma das importantes ferramentas para o ensino das disciplinas das áreas STEM. Como afirma Orth (2016), a aprendizagem ocorre na possibilidade da observação, da análise e da interpretação dos fenômenos, características essas fundamentais da experimentação. Por isso, para a autora, “o uso do laboratório didático é essencial para o processo de formação dos educandos, sendo que sua exclusão do processo educacional poderá acarretar uma lacuna na busca da apropriação dos conhecimentos científicos” (ORTH, 2016, p.25).

Diante disso, a ausência da experimentação no ensino da disciplina de Física pode dificultar a assimilação da teoria com a realidade vivida pelo estudante. E, como já citado, isso pode levar a uma dificuldade para compreender uma série de analogias e inferências necessárias à abstração das leis científicas. Entretanto, apesar da sua importância, a experimentação nem sempre é uma realidade presente nas salas de aula, seja no ensino fundamental ou médio. O que é visto nas salas de aula, usualmente, é um ensino pautado em aulas excessivamente expositivas, nas quais os alunos assumem um papel passivo diante da sua aprendizagem.

A falta de experimentação, muitas vezes, está relacionada às dificuldades que os professores enfrentam diante da infraestrutura disponibilizada pelas escolas para esse tipo de atividade. Segundo dados do Censo Escolar 2020, apenas 12% das escolas de ensino básico possuem laboratórios de ciências. Em relação às escolas públicas, apenas 9% possuem esse tipo de laboratório – e, mesmo quando existentes, são por vezes precários (INEP/MEC, 2020).

Diante disso, surgem como alternativa os laboratórios *online*, que oferecem novas formas de acesso a laboratórios de ciências e contribuem para a superação de tal carência, além de expandir as possibilidades da experimentação. Laboratórios remotos e virtuais já representam uma oportunidade para docentes e discentes explorarem conteúdos práticos no dia a dia em sala de aula, antes impedidos pela falta de equipamentos. Nesse contexto, estudos recentes têm investigado as possibilidades do aprimoramento desses laboratórios, a fim de torna-los cada vez mais completos e eficazes (ANTONIO, 2016; RODRIGUEZ-GIL et al., 2017).

Entretanto, Wästberg et al. (2019) alertam para a quantidade de estudos que preocupam-se unicamente quanto ao desenvolvimento das soluções tecnológicas, não havendo uma preocupação profunda nos aspectos pedagógicos e didáticos inerentes à utilização dessas tecnologias na educação. Konak, Clark e Nasereddin (2014) explicam que, em muitos casos, as aulas em laboratório são guiadas por uma abordagem de “livro de receitas”, pela qual é fornecido aos alunos um conjunto de instruções passo a passo, seguidas por questões que pouco contribuem para a discussão e reflexão – o que pode reduzir os benefícios e o papel importante das experiências práticas na educação científica.

Corroborando com esta afirmativa, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) ressalta que é imprescindível que os alunos estejam envolvidos em atividades investigativas no ensino de conceitos científicos, porém “isso não significa realizar atividades seguindo, necessariamente, um conjunto de etapas predefinidas, tampouco se restringir à mera manipulação de objetos ou realização de experimentos em laboratório” (BRASIL, 2018, p.322). Por outro lado, a BNCC define que o ensino de conceitos científicos deve ser norteado por situações de aprendizagem que partam de questões desafiadoras, que estimulem o interesse e a curiosidade dos estudantes.

Conforme Konak, Clark e Nasereddin (2014), para que as experiências em laboratórios possam ser bem aproveitadas é necessário conduzir o estudante a momentos de reflexão, permitindo que ocorra a transformação da experiência em conhecimento. Em muitas sessões de laboratórios os estudantes estão envolvidos em detalhes técnicos, em uma sessão de tempo limitado, o que dificulta a ativação de atividades metacognitivas, tais como refletir e interpretar as ideias centrais do laboratório (KONAK; CLARK; NASEREDDIN, 2014).

Falta de atividades práticas empolgantes e contextualizadas no ensino das disciplinas STEM tem acarretado em uma falta de interesse por essas áreas e, conseqüentemente, gerado baixo rendimento dos estudantes na área. Estudos têm demonstrado que o interesse dos jovens em temas relacionados à Ciência é cada vez menor; e pesquisas afirmam que há uma ligação

direta entre a atitude do jovem em relação às STEM e a falta de recursos que os estimulem nestas áreas. Nesse sentido, Tseng et al. (2013), Deslauriers, Schelew e Wieman Li (2011), Öchsner e Hall (2019) apresentam estudos que utilizam metodologias diversificadas a fim de melhorar o engajamento em disciplinas das áreas STEM. Tseng et al. (2013) analisaram as atitudes dos estudantes em relação as áreas STEM antes e depois de atividades pedagógicas pautadas na metodologia de Aprendizagem Baseada em Projetos (PBL). Os resultados do estudo mostraram que as atitudes dos estudantes em relação a essas áreas mudaram sobremaneira, gerando aprendizagem significativa e influenciando positivamente as atitudes dos jovens em relação à futura carreira profissional.

De forma semelhante, Deslauriers, Schelew e Wieman (2011) compararam o desempenho de dois grupos de estudantes, dos quais cada grupo recebeu aulas com metodologias de ensino diferentes: o grupo controle com aulas essencialmente expositivas e o grupo experimental com aulas planejadas a partir do conceito de “prática deliberada”. Conforme os autores, “prática deliberada” abrange ideias educacionais do construtivismo e da avaliação formativa. Os resultados foram favoráveis ao grupo experimental, tanto em termos de engajamento e frequência dos estudantes às aulas, quanto ao desempenho em testes conceituais de Física.

Li, Öchsner e Hall (2019) utilizaram a Teoria de Aprendizagem Experiencial de Kolb (*Experiential Learning Theory* - ELT) para redesenhar a disciplina de projeto mecânico no curso de Engenharia Mecânica, a fim de melhorar o envolvimento dos alunos e a experiência de aprendizagem. Ao aplicar a aprendizagem experiencial, por meio do ciclo de aprendizagem de Kolb, os autores identificaram significativa melhoria no envolvimento e desempenho dos alunos durante a disciplina.

Neste contexto, esta proposta de tese visa a investigar uma abordagem para o ensino em laboratório utilizando diferentes tipos de laboratórios *online* (virtual, remoto e aumentado), usando como suporte teórico a Teoria da Aprendizagem Experiencial de Kolb, que tem como base os processos de vivenciar, refletir, pensar e agir (Kolb, 2014).

Conforme Kolb (2014, p.31), o objetivo da ELT é sugerir “uma perspectiva integrativa holística da aprendizagem que combina experiência, percepção, cognição e comportamento”. Para o autor, essa perspectiva holística é o que distancia sua teoria de “teorias racionalistas e outras teorias cognitivistas que tendem a dar ênfase primordial à aquisição, manipulação e uso de símbolos abstratos, e de teorias comportamentais que negam qualquer papel à consciência e à experiência subjetiva no processo de aprendizado” (KOLB, 2014, p.31).

Para Kolb (2014), o conhecimento é o resultado da interação entre teoria e experiência,

e é por meio dessa relação dialógica, entre conceitos abstratos e experiência, que a aprendizagem e o desenvolvimento humano acontecem. A experiência sozinha não é suficiente para aprender, para isso é preciso refletir sobre a experiência e ser capaz de fazer generalizações, formulando conceitos que podem ser aplicados em novas situações.

Diante disso, novos conhecimentos, habilidades ou atitudes são alcançados através do confronto entre quatro modos de aprendizado experiencial. São eles: Experiência Concreta (EC) – vivenciar uma experiência abertamente e sem preconceitos; Observação Reflexiva (OR) – refletir sobre e observar suas experiências a partir de diferentes perspectivas; Conceituação Abstrata (CA) – criar conceitos que integram as observações em teorias logicamente sólidas, e; Experimentação Ativa (EA) – ser capaz de usar essas teorias para tomar decisões e resolver problemas (KOLB, 2014).

Desse modo, a ELT está alicerçada em um ciclo de aprendizagem experiencial que contempla esses quatro estágios adaptativos, formando um ciclo de interação que deve ser explorado de forma integral no processo de aprendizagem, a fim de evidenciar nos alunos cada um desses modos de adaptação. Além disso, o ciclo de aprendizagem de Kolb está diretamente relacionado com os estilos de aprendizagem, também definidos pela ELT. Para o autor, cada indivíduo possui seu próprio estilo de aprendizagem, e o ciclo procura aproveitar as características desses estilos, além de estimular o surgimento de novos estilos de aprendizagem nos estudantes, de modo que enseje o aprendizado em um nível superior (KOLB, 2014).

É neste contexto que o trabalho aqui exposto procura, por meio do desenvolvimento e da aplicação de uma combinação de laboratórios *online*, contribuir para a motivação e para o desempenho dos alunos em práticas no ensino de circuitos elétricos, aproveitando todos os estágios do ciclo de aprendizado de Kolb. Neste sentido surgiu a seguinte questão de pesquisa:

- **O uso de Laboratórios Remoto, Virtual e Remoto Aumentado, a partir dos preceitos da Teoria de Aprendizagem Experiencial, pode interferir positivamente nos processos de ensino e aprendizagem de circuitos elétricos no contexto do ERE, em termos de desempenho conceitual e motivação?**

A partir da pergunta principal surgem outras questões norteadoras que visam a dar suporte à realização desta pesquisa. São elas:

- O uso dos Laboratórios Remoto, Virtual e Remoto Aumentado, inseridos em um Ciclo de Kolb, contribui para a melhora no desempenho conceitual na aprendizagem de circuitos elétricos?

- O uso dos Laboratórios Remoto, Virtual e Remoto Aumentado, inseridos em um Ciclo de Kolb, contribui igualmente para a melhora no desempenho conceitual de alunos de diferentes estilos de aprendizagem?
- Quais as percepções dos estudantes no nível de motivação, em termos de Atenção, Relevância, Confiança e Satisfação, ao participar de uma atividade de ensino e aprendizagem baseada no Ciclo Experiencial de Kolb com apoio dos Laboratórios Remotos, Virtuais e Remotos Aumentados?
- Há diferença nos níveis de motivação percebidos pelos estudantes conforme o estilo de aprendizagem apresentado por eles?

1.4 Objetivo Geral

Levando em conta a problemática apontada, foi formulado o seguinte objetivo de pesquisa:

- **Investigar se o uso de Laboratórios Remoto, Virtual e Remoto Aumentado, a partir dos preceitos da Teoria de Aprendizagem Experiencial, pode interferir positivamente nos processos de ensino e aprendizagem de circuitos elétricos no contexto do ERE, em termos de desempenho conceitual e motivação.**

1.4.1 Objetivos específicos

- Selecionar Laboratórios Remotos e Virtuais a serem incluídos em um ciclo de Kolb.
- Desenvolver um Laboratório Remoto Aumentado para o ensino de circuitos elétricos.
- Validar o Laboratório Remoto Aumentado junto a alunos e professores.
- Elaborar estratégias pedagógicas baseadas no Ciclo Experiencial de Kolb para realização de práticas laboratoriais com uso de laboratórios *online* (LR, LV, LRA).
- Investigar se os estudantes que utilizaram as estratégias previstas apresentam uma melhora no desempenho conceitual referente aos conceitos de circuitos elétricos.
- Verificar qual a percepção dos estudantes no nível de motivação, em termos de Atenção, Relevância, Confiança e Satisfação (ARCS) ao participar de uma atividade de ensino e aprendizagem baseada no Ciclo Experiencial de Kolb com apoio dos Laboratórios Remotos, Virtuais e Remotos Aumentados.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Dificuldades de aprendizagem em circuitos elétricos simples

As dificuldades de aprendizagem em circuitos elétricos simples, do ensino médio ao superior, têm sido uma preocupação recorrente de educadores em todo mundo, desde a década de 1980 (TSAI et al., 2007). Conforme autores de diferente épocas e países, as dificuldades relacionadas aos conceitos envolvidos no estudo de circuitos elétricos são um desafio principalmente devido à presença de conceitos errôneos trazidos de experiências anteriores do cotidiano (DORNELES; VEIT; MOREIRA, 2010; HUSSAIN et al., 2013; KHWANDA; KRIEK, 2020; SILVEIRA; MOREIRA; AXT, 1989; TSAI et al., 2007).

Esses conceitos errôneos, na literatura, são chamados de *concepções alternativas*. Resultados de diversos estudos sobre o tema mostraram que os alunos possuem um padrão de concepções alternativas relacionadas aos conceitos de circuitos elétricos, mesmo que a matematização do conteúdo os ajude a ter sucesso em testes sobre o tema (DUIT; VON RHÖNECK, 1997; KHWANDA; KRIEK, 2020).

As dificuldades perpassam aos conceitos de corrente elétrica, diferença de potencial e resistência elétrica. Conforme Dorneles (2010), os principais raciocínios errôneos que levam às concepções alternativas do tema são: o uso de um raciocínio local em vez de sistêmico ou holístico; o uso de um raciocínio sequencial em vez de sistêmico ou holístico, e; a incapacidade para aplicar o conceito de um circuito completo.

Esses raciocínios errôneos geram concepções alternativas, como a ideia de que a corrente elétrica é uma propriedade da fonte, e com isso ela é consumida pelos componentes resistivos do circuito, de modo que em uma sequência de elementos “cada componente acaba recebendo menos corrente elétrica do que a anterior” (SILVEIRA, 1989, p. 1130), o que, claramente, percebe-se um raciocínio sequencial e local.

Outra concepção alternativa nessa linha, mas a respeito do funcionamento dos resistores, é que, frequentemente, os estudantes tendem a raciocinar localmente, aplicando um modelo não conservativo em que o circuito não é visto como um sistema dentro do qual uma perturbação em determinado local causa uma alteração global (TSAI et al., 2007). Nessa concepção a resistência equivalente é uma propriedade de um elemento individual do circuito e, portanto, ao incluir ou retirar um resistor do esquema, não afetará os outros elementos do circuito (DORNELES, 2010). Novamente, seguindo um raciocínio sequencial e local.

Já referente ao conceito de diferença de potencial, Duit, Von e Rhöneck (1997)

consideram um dos conceitos mais difíceis da eletricidade básica. Segundo os autores, muitos alunos reconhecem que a bateria é uma fonte de corrente elétrica constante e não uma fonte de diferença de potencial constante, mesmo após a instrução formal. No estudo realizado por eles, cerca de 40% da amostra não conseguiram diferenciar os conceitos de tensão e de corrente elétrica em uma determinada situação de aprendizagem.

Hussain et al., (2013), em sua pesquisa com alunos do primeiro ano do curso de Engenharia Elétrica da Malásia, após o processo de ensino no estilo tradicional de aula expositiva, evidenciaram que apenas 36,2% dos alunos conseguiam diferenciar os conceitos de corrente e tensão em uma situação de aprendizagem com um circuito em paralelo. Quanto ao conceito de resistência equivalente, apenas 46,8% chegaram a uma concepção adequada depois da instrução. Para os autores, o que ficou mais evidente no estudo é que os alunos têm uma concepção alternativa de “quando não há corrente; não há tensão e, portanto, não há resistência”, o que demonstra que os alunos confiam apenas na Lei de Ohm, sem ter uma compreensão profunda dos conceitos.

Outra dificuldade frequentemente relatada na literatura, principalmente em estudos que envolvem alunos do ensino médio, é a impossibilidade de aplicar o conceito de circuito completo. Por exemplo: muitos alunos não conseguem acender uma lâmpada com uma bateria e um único fio elétrico, pois não consideram que uma lâmpada tenha dois terminais para estabelecer uma conexão (DORNELES, 2010).

No estudo brasileiro realizado por Andrade et al., (2018), aplicado com alunos do 3º ano do ensino médio de uma escola pública de Maracanaú – Ceará, foi possível evidenciar as concepções alternativas já conhecidas sobre circuitos elétricos. Os autores utilizaram como instrumento de coleta de dados o questionário desenvolvido por Silveira et. al (1989), que visa a verificar se o respondente possui concepções científicas sobre corrente elétrica em circuitos simples, além de entrevistas clínicas. Andrade e colaboradores (2018) encontraram “a prevalência da ideia de que a bateria é uma fonte de corrente elétrica constante”; além disso, “alguns alunos associam a corrente elétrica a um fluxo de energia” (ANDRADE et al. 2018, p.12). Os autores destacam, também, a falta de consistência nas respostas dos alunos. Um exemplo: todos os alunos acertaram a primeira questão do teste, referente à ideia do consumo da corrente, mas, nas entrevistas clínicas, alguns deles não souberam justificar sua resposta e, por vezes, mudaram sua resposta inicial correta.

Dorneles (2010) desenvolveu uma revisão sistemática da literatura a fim de identificar as principais dificuldades conceituais e concepções alternativas dos estudantes na aprendizagem de circuitos elétricos. Entre os estudos encontrados na revisão, o autor destacou os achados de

três estudos: Duit e Von Rhöneck (1997), McDermott e Shaffer (1992) e Engelbart e Beichner (2004). A Tabela 1 sistematiza as principais dificuldades conceituais e as concepções alternativas correspondentes encontradas nesses estudos, para cada um dos conceitos: corrente elétrica, diferença de potencial e resistência elétrica.

Tabela 1 - Síntese das dificuldades conceituais e concepções alternativas identificadas na terceira coluna por [1] Duit e Von Rhöneck (1997), [2] McDermott e Shaffer (1992) e [3] Engelhardt e Beichner (2004).

Conceitos	Dificuldades conceituais	Concepções alternativas: Os estudantes...
1. Corrente elétrica	<ol style="list-style-type: none"> 1. Compreender que a intensidade da corrente elétrica em um circuito depende das características da fonte, mas também da resistência equivalente do que foi acoplado entre os seus terminais. 2. Considerar a conservação da corrente elétrica. 3. Reconhecer que a intensidade da corrente elétrica não depende da ordem em que se encontram os elementos no circuito e nem do sentido da corrente. 	<ol style="list-style-type: none"> a) ... pensam que a corrente se desgasta ao passar por uma resistência elétrica [1- 3]. b) ... pensam que a bateria é uma fonte de corrente elétrica constante [1- 3]. c) ... acreditam que a ordem dos elementos no circuito e o sentido da corrente elétrica são relevantes [1- 3]. d) ... pressupõem que a fonte fornece os portadores de carga responsáveis pela corrente elétrica no circuito [3].
2. Diferença de potencial	<ol style="list-style-type: none"> 1. Diferenciar os conceitos: diferença de potencial e corrente elétrica. 2. Diferenciar os conceitos de diferença de potencial e de potencial elétrico. 3. Reconhecer que uma bateria ideal mantém uma diferença de potencial constante entre seus terminais. 4. Calcular a diferença de potencial entre pares de pontos ao longo do circuito. 	<ol style="list-style-type: none"> e) ... pensam que a bateria é uma fonte de corrente elétrica constante e não como uma fonte de diferença de potencial constante [1- 3]. f) ... percebem a diferença de potencial como uma propriedade da corrente elétrica [3]. g) ... consideram que as diferenças de potencial entre pares de pontos ao longo do circuito permanecem constantes [1]. h) ... associam o brilho de uma lâmpada com o valor do potencial em um dos terminais da lâmpada [2].
3. Resistência elétrica	<ol style="list-style-type: none"> 1. Distinguir resistência equivalente de uma parte do circuito e a resistência elétrica de um elemento individual. 2. Perceber que a resistência equivalente é uma abstração útil para obter a corrente total ou a diferença de potencial em uma parte do circuito. 3. Compreender que as divisões de correntes elétrica em um ponto de junção do circuito dependem da configuração do circuito. 4. Entender a associação em série de resistores como um impedimento à passagem de corrente; e a associação em paralelo como um caminho alternativo, para a passagem de corrente. 5. Identificar associações em série e em paralelo. 	<ol style="list-style-type: none"> i) ... frequentemente pensam na resistência equivalente no circuito como se fosse uma propriedade de um elemento individual do circuito [1]. j) ... ao determinar como se divide a corrente elétrica em ramos paralelos de um circuito, consideram somente o número de ramos e não as resistências elétricas relativas dos vários ramos [1-3]. k) ... pensam que se um resistor reduz a corrente por x, dois resistores vão reduzi-la por 2x, independentemente do arranjo dos resistores [3]. l) ... consideram que resistores alinhados em série estão associados em série quer haja uma junção ou não entre eles e que resistores alinhados geometricamente em paralelo estão associados em paralelo mesmo se há uma bateria no ramo [3].

Fonte: (DORNELES, 2010).

Como pode ser observado, são muitas as concepções alternativas envolvendo os

conceitos de eletricidade. Duit, Von e Rhöneck (1997) fazem três recomendações para ensinar eletricidade, a fim de mitigar o aparecimento, ou o mantimento, das concepções alternativas: (i) o fluxo atual e o fluxo de energia devem ser claramente diferenciados desde o início, a fim de abordar a ideia de consumo da corrente, que provou suportar a instrução de uma forma muito séria; (ii) a corrente e a tensão devem ser diferenciadas desde um estágio inicial, a fim de fornecer aos alunos uma visão do fenômeno do fluxo de corrente, que inclui a ideia de uma "força" motriz desse fluxo; (iii) a fim de abordar o raciocínio "local" e "sequencial", que domina as visões dos alunos sobre o fluxo atual, é necessário orientar os alunos a uma sistêmica do circuito elétrico, desde um estágio inicial.

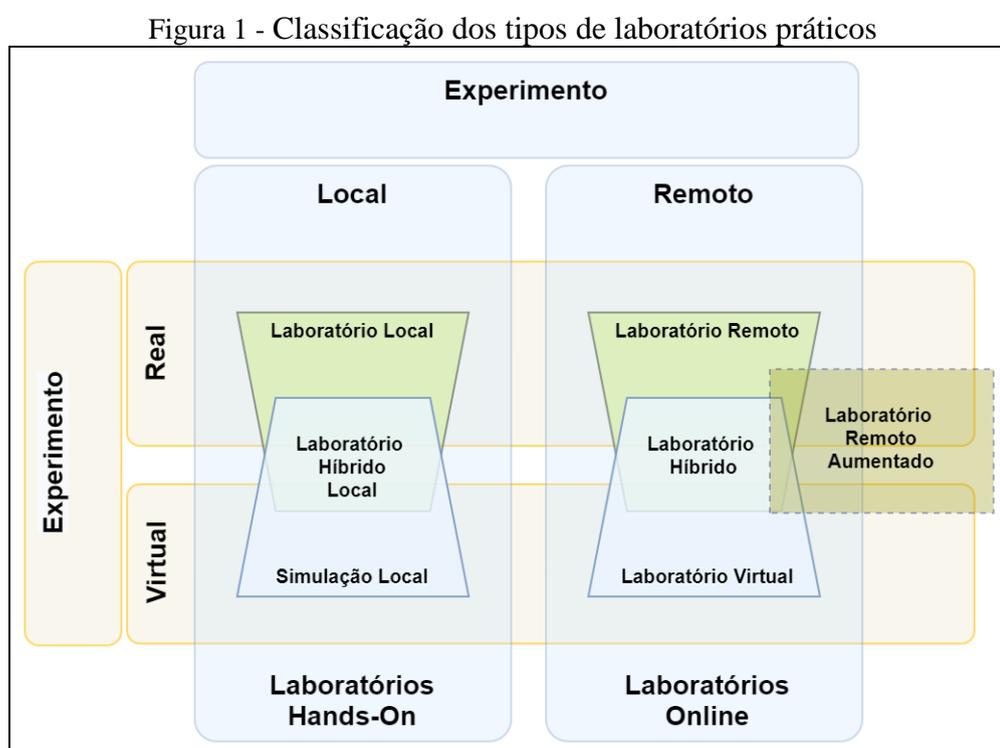
Dorneles et al. (2010) desenvolveram um estudo a fim de investigar a aprendizagem de alunos que utilizaram modelagem e simulação computacional (*software Modellus*) na aprendizagem de circuitos elétricos simples, à luz da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. O estudo foi realizado com estudantes da disciplina de Física II-C, no curso de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por meio de um estudo quase-experimental (grupos experimental e controle), e utilizando como instrumento de coleta de dados o questionário desenvolvido por Silveira et. al (1989) – que visa a verificar se o respondente possui concepções científicas sobre corrente elétrica em circuitos simples. Os autores relacionaram os resultados educacionais do teste com as dificuldades conceituais e concepções alternativas apresentadas na Tabela 1.

Entre os resultados, Dorneles et al. (2010) evidenciaram que houve diferenças estatisticamente significativas no desempenho dos alunos do grupo experimental, quando comparado com aqueles do grupo de controle. E os resultados qualitativos sugerem que muitos alunos do grupo experimental alcançaram uma aprendizagem significativa, superando certas concepções alternativas. Por exemplo: a simulação computacional ajudou os alunos a superar a concepção alternativa de que a corrente elétrica é consumida ao passar por uma resistência elétrica. Outro resultado importante é que, ao variar um parâmetro em um circuito, os alunos puderam observar instantaneamente alterações ao longo do circuito – o que contribuiu para o desenvolvimento de um raciocínio sistêmico.

2.2 Laboratórios *Online*

Zutin et al. (2010) agruparam os tipos de laboratórios práticos em dois grupos: *hands-on* e laboratórios *online*. Os laboratórios *online* incluem laboratórios virtuais (simulações), dos quais é possível reproduzir qualquer tipo de experimento, sem restrições, e laboratórios

remotos, cuja interação é intermediada por tecnologias digitais, em que o aluno pode manipular materiais e equipamentos reais em local diferente do que se encontra. Já nos laboratórios *hands-on* ocorre a interação direta do experimentador/investigador com o aparato, que podem ser materiais ou equipamentos em um laboratório local em uma instituição de ensino ou um computador local onde vai ser rodada uma simulação. Nessa perspectiva, os Laboratórios Híbridos, na perspectiva dos laboratórios *online*, misturam elementos virtuais e remotos na tentativa de aproveitar as vantagens proporcionadas por cada um desses, a fim de oferecer realismo, custo-benefício e recursos adicionais – como *gamificação* ou ambientes virtuais (RODRIGUEZ-GIL et al., 2017; ZUTIN et al., 2010). A Figura 1, adaptada do estudo de Zutin et al. (2010), apresenta as diferentes classificações dos laboratórios práticos.



Fonte: Adaptada do estudo de Zutin et al. (2010).

Incluímos no diagrama de Zutin e colaboradores os Laboratórios Remotos Aumentados, também conhecidos como Laboratórios Remotos de RA, que são Laboratórios Híbridos que pretendem incluir elementos virtuais em laboratórios remotos, por meio de técnicas de Realidade Aumentada. Nesse sentido, estão mais próximos ao conceito de laboratório remoto (MEJÍAS; ANDÚJAR, 2012), como demonstra a Figura 1. As próximas seções têm como objetivo explorar cada um dos tipos de laboratórios *online* no âmbito da educação.

2.2.1 Laboratórios Virtuais

Os laboratórios virtuais (LV) são representações computacionais, pelas quais é possível reproduzir qualquer tipo de experimento, podendo ser utilizados para a exploração de conceitos e/ou compreensão de processos em práticas educacionais diversas (TEIXEIRA; BRANDÃO, 2003). Trata-se de um ambiente interativo que reproduz o real por meio de experiências simuladas. Sendo assim, essas simulações podem contemplar vários tipos de interfaces, tais como: animações, gráficos, textos, imagens e sons, que tendem a aproximar ao máximo a simulação idealizada com a realidade que se pretende investigar (ALBU et al., 2004).

O uso desses laboratórios tem proporcionado práticas experimentais importantes no ensino de Ciências na educação básica (SANTOS, 2018). Estudos apontam que essas ferramentas têm se tornado cada vez mais populares e frequentes nas instituições formais de ensino, seja para complementar as práticas laboratoriais tradicionais ou para proporcionar experimentação em escolas que não possuem laboratórios de Ciências (SANTOS, 2018; ANTÔNIO, 2016) – sendo vistas atualmente como recursos fundamentais na construção de conhecimento e formulação de conceitos científicos (DINIZ, 2021).

Pesquisadores afirmam que, por reproduzirem o funcionamento de um laboratório real, esses espaços virtuais são excelentes ferramentas pré-laboratoriais, pois proporcionam um preparo prévio do aprendiz para experimentações reais em laboratórios convencionais, aprimorando a formação desse indivíduo e evitando possíveis inconvenientes futuros (BOTTENCTUIT; JUNIOR; COUTINHO, 2007; SILVA E MELO, 2016).

Entretanto, no atual cenário das restrições sanitárias para o controle da pandemia do coronavírus, estudos apontam para um expressivo aumento no uso desses recursos no ensino remoto emergencial, sendo, muitas vezes, a única opção para a realização de práticas laboratoriais (DA SILVA; LEITE FILHO, 2020; DINIZ, 2021; RADHAMANI et al., 2021).

Nesse sentido, Navarro e Arguedas-Matarrita (2020) desenvolveram um laboratório virtual para o ensino dos conceitos relacionados a Lei de Newton, que foi utilizado no ERE por alunos do ensino superior da Universidade Estadual de Educação a Distância da Costa Rica. Entre os resultados, os autores encontraram uma grande aceitação do laboratório virtual como ferramenta experimental, e os alunos destacaram a importância desse recurso para a realização da aprendizagem em tempos de pandemia.

Conforme Bottentuit Junior e Coutinho (2007), o surgimento de laboratórios virtuais é resultado de três demandas: (i) atender uma quantidade maior de alunos; (ii) ofertar a experimentação em tempo integral, e; (iii) assistir a diferentes instituições de ensino ao mesmo

tempo. Para os autores, os laboratórios virtuais potencializam o processo de ensino e aprendizagem, pois complementam explicações teóricas em sala de aula, possuem baixo custo, não apresentam nenhum risco a integridade física do aluno e do professor e permitem compartilhar o recurso com um número ilimitado de pessoas.

A experimentação por meio desse tipo de laboratório pode estar associada a diferentes metodologias de ensino, tanto em ambientes formais de ensino (na escola) como não-formais (em casa, por exemplo), estimulando o levantamento de hipóteses, permitindo a ressignificação de saberes por meio de análises comparativas e potencializando debates necessários para a resolução de determinado problema – assim como também pode ser utilizada pelo aluno para a compreensão de fenômenos naturais (SANTOS, 2018).

Santos (2018) diferencia os laboratórios virtuais dos laboratórios remotos e convencionais apontando os seguintes critérios: (a) são completamente virtuais, desde seus elementos de formação até o modo como é veiculado; (b) são baseados em simulações; (c) permitem o acesso de vários alunos ao mesmo tempo; (d) todos os processos, por mais próximos que estejam da realidade, são simuladores, fictícios; (e) podem simular qualquer tipo de experimento; (f) têm reprodução fictícia do mundo real, criando ambientes imersivos e com alta interatividade; (g) o experimento realizado a partir de simulação gera sempre o mesmo resultado; (h) podem funcionar tanto no modo *online* quanto no modo *offline*.

Existem diversas plataformas que viabilizam laboratórios virtuais para o ensino das disciplinas STEM, tais como: *Physics Education Technology* (PhET), LabVirt da Universidade de São Paulo (USP), Laboratórios Virtuais da Person e EvoBooks, entre tantos outros que surgem com o avanço das tecnologias digitais da informação e da comunicação na educação.

Atualmente, a plataforma *Physics Educacional Technology* (PhET) (PhET: Simulações Interativas), que disponibiliza simuladores virtuais interativos, é o laboratório com mais acessos no mundo. Um fato consolidado pela quantidade e qualidade de suas simulações, traduzidas em mais de 65 línguas diferentes e com licença livre (ARAÚJO et al., 2021). Até o presente momento, a plataforma conta com mais de 150 simulações interativas nas áreas de Física, Química, Matemática, Ciências da Terra e Biologia, do ensino fundamental ao nível superior, sendo a maioria (106) voltada ao ensino de Física (PhET, 2021).

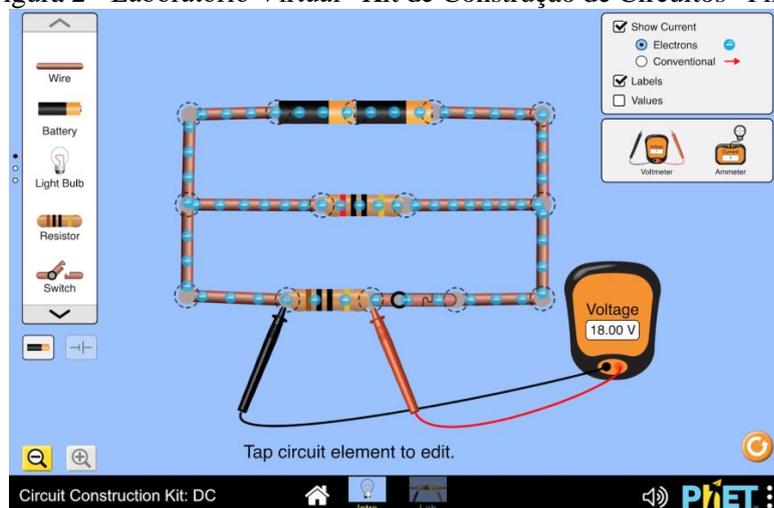
O PhET foi fundado em 2002, na Universidade do Colorado Boulder, pelo pesquisador Carl Wieman, com o objetivo de melhorar a forma como a ciência é ensinada e aprendida. Os simuladores do PhET são desenvolvidos em linguagem Java, Flash ou HTML5, podendo ser acessados via computador ou dispositivos móveis, com suporte para os mais diversos sistemas

operacionais. Essas propriedades facilitam a exploração dos experimentos, possibilitando o uso desses aplicativos *web* tanto no modo *online* quanto *offline* (PhET, 2021).

Conforme Araújo et al. (2021), as experimentações disponibilizadas pelo PhET resultam de estudos na área da educação, com testes e avaliações realizados em sala de aula antes e após sua aplicação, assegurando sua eficácia pedagógica. Nesse sentido, é possível encontrar na literatura diferentes estudos que exploram os laboratórios disponibilizados pela plataforma. Prima, Putri e Rustaman (2018) utilizaram o LV do PhET para ensinar o sistema solar. Entre os resultados, o autor evidenciou que os alunos que utilizaram os laboratórios virtuais apresentam melhores resultados, além de níveis mais elevados de motivação, quando comparados com estudantes que não utilizaram o laboratório – mostrando uma correlação moderada entre compreensão conceitual e motivação com o uso das simulações.

Para o ensino de circuitos elétricos, o laboratório virtual “Kit de Construção de Circuitos”, do PhET, é comumente utilizado. Este laboratório permite a construção de circuitos elétricos virtuais – explorando elementos como resistores, lâmpadas, baterias, lâmpadas ideais e não ôhmicas, fusíveis e interruptores – e a realização de medições com um amperímetro e um voltímetro virtual (Figura 2).

Figura 2 - Laboratório Virtual “Kit de Construção de Circuitos” PhET



Fonte: phet.colorado.edu/pt/simulations/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab.

Bastos (2020) utilizou o kit com alunos do 3º ano do curso técnico de Mineração do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá. O autor concluiu que o uso do laboratório virtual contribuiu para melhorar a capacidade lógica, a compreensão das funcionalidades dos elementos de um circuito e no entendimento de suas propriedades. De forma semelhante, Feitosa e Lavor (2020) utilizaram o kit de construção de circuitos do PhET

para o ensino de circuitos elétricos com alunos do ensino médio. Os autores exploraram o simulador com base em uma sequência de ensino investigativa. Conforme os autores, durante o uso da ferramenta, os alunos se mantiveram motivados – o que culminou em bons resultados educacionais, de acordo com avaliação feita a partir de um teste conceitual.

Em um estudo exploratório, durante o período pandêmico, Chiodi, Soutadet e Bosio (2021) utilizaram – entre outros laboratórios virtuais também do PhET – o kit de construção de circuitos com alunos da Faculdade de Engenharia da Universidade Católica de Córdoba (UCC), para a continuidade dos trabalhos práticos no ensino de Física. Apesar de preliminares, os resultados mostraram que a aplicação de experiências de laboratório de Física por meio de simulação pode se tornar uma excelente ferramenta para facilitar a compreensão dos alunos de conceitos abstratos e complexos diante da falta de presença.

Por fim, destaca-se que os laboratórios virtuais, associados à uma metodologia de ensino adequada, podem ser envolventes e motivadores no ensino de Física, pois são capazes de inserir os alunos em efetivos processos de produção e exploração do conhecimento, por meio da experimentação em modelos animados confiáveis, significativamente úteis, que se configurarão como um guia de pensamento para os seus usuários.

2.2.2 Laboratórios Remotos

O Laboratório Remoto (ou de experimentação remota) se diferencia dos laboratórios tradicionais apenas por estar distante do aluno, pois, assim como nesses laboratórios, a experimentação remota permite que o aluno controle instrumentos e dispositivos reais, porém remotamente, por meio de alguma interface que realiza a mediação entre o aluno e os equipamentos – diferentemente dos laboratórios virtuais, que são experimentos baseados em simulações, pelas quais os alunos manipulam representações computacionais (SILVA; ROCHADEL; MARCELINO, 2012).

A principal vantagem dos laboratórios remotos, em relação aos laboratórios virtuais, é a possibilidade de interação direta com equipamentos reais e, com isso, ser possível obter informações reais, mesmo que de forma *online* – permitindo ao utilizador, assim, uma análise de problemas práticos do mundo real (RODRIGUEZ-GIL et al., 2017). Nesse sentido, Cassini e Prattichizo (2003) afirmam que a possibilidade de interagir com processos reais permite a descoberta de novos resultados, já que o aluno precisa calibrar as máquinas e os equipamentos com seus próprios dados.

Os laboratórios remotos são ótimas opções para instituições de ensino que não possuem

laboratórios presenciais; ou que pretendem estender seus recursos escassos; ou, ainda, que desejem compartilhar equipamentos com outras instituições – e, dessa forma, permitir que um maior número de alunos obtenha conhecimentos práticos em diversas áreas do conhecimento (ZUBÍA et al., 2017; ZUBÍA; ALVES, 2011).

Além disso, o uso desses laboratórios não está limitado a uma sala de laboratório, em um horário específico, como nos laboratórios *hands-on*. Essas tecnologias permanecem disponíveis aos estudantes todo o tempo, permitindo o acesso sete dias por semana, 24 horas por dia, podendo ser exploradas principalmente no ensino a distância (ANTONIO et al., 2016; CRISTIANO, 2017; ZUBÍA et al., 2017).

Atualmente, diferentes iniciativas de desenvolvimento e utilização de Laboratórios Remotos na educação podem ser encontradas. Alguns exemplos são: Plataforma VISIR open Lab, Projeto Go-Lab, *The Labshar Institute* e Rexlab. A plataforma VISIR Open Lab (*Virtual Instrument Systems In Reality*), por exemplo, é um laboratório remoto que permite que professores e alunos realizem experiências remotas com circuitos elétricos e eletrônicos (fonte de alimentação tripla DC, gerador de funções, multímetro e osciloscópio), com os quais é possível interagir via painéis frontais virtuais, disponibilizados no computador do utilizador (LOBO et al., 2011; ZUBÍA et al., 2017).

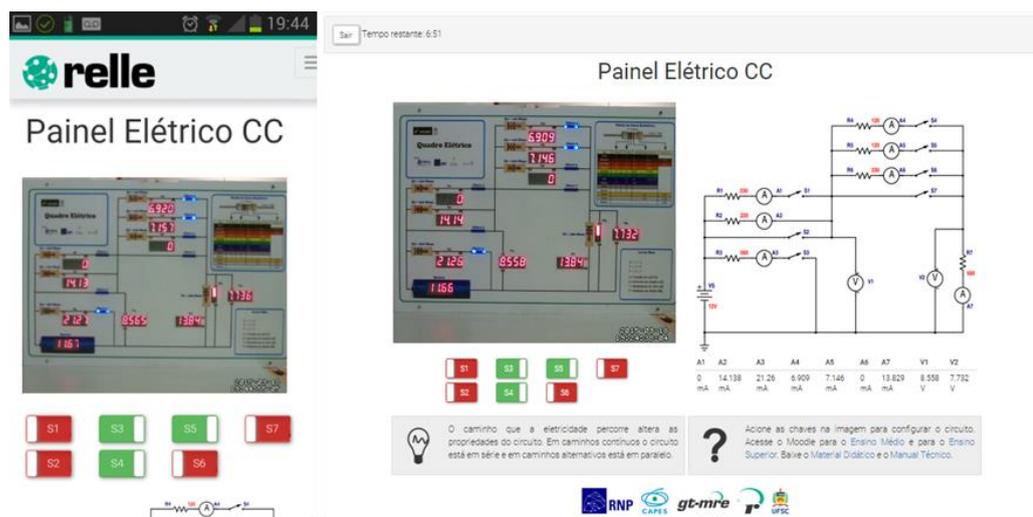
O VISIR, desenvolvido pelo Blekinge Institute of Technology (BTH), na Suécia, juntamente com a National Instruments (NI - USA) e a Axiom EduTech, é implementado em uma plataforma aberta que permite que outras IE, além daquela onde está instalado, possam acessá-lo para realizar a experimentação, de tal forma que a comunidade em torno do VISIR seja cada vez maior e possa compartilhar experiências com os parceiros (TAWFIK et al., 2013).

Já o Projeto Go-Lab (*Global Online Science Labs for Inquiry Learning at School*) é um projeto colaborativo que visa a promover a aprendizagem baseada em inquérito com a utilização de laboratórios *online* (laboratórios remotos e virtuais), a fim de enriquecer os processos de ensino e aprendizagem. Para atingir tais objetivos, o Projeto Go-Lab disponibiliza um portal do qual contempla laboratórios *online*, espaços de aprendizagem baseados em inquérito (ILS - *Inquiry learning spaces*) e aplicativos de apoio a aprendizagem (DE JONG; SOTIRIOU; GILLET, 2014; GO-LAB, 2018; HOVARDAS; XENOFONTOS; ZACHARIA, 2017).

No Brasil, o Laboratório de Experimentação Remota (Rexlab), ligado à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), desenvolve pesquisas na área por meio do desenvolvimento do projeto GT-MRE, que é apoiado pela CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e RNP (Rede Nacional de Ensino e Pesquisa). O GT-MRE tem por objetivo desenvolver e implantar uma plataforma que integre ambiente virtual de ensino e de

aprendizagem por meio da disponibilização de conteúdos didáticos abertos *online*, acessados por dispositivos móveis ou convencionais, e complementados pela interação com experimentos remotos (NICOLETE, 2016). A Figura 3 apresenta o experimento remoto “Painel Elétrico CC”, desenvolvido pelo Rexlab. O experimento permite o estudo de circuitos elétricos.

Figura 3 - Experimento remoto “Painel Elétrico CC” acessado do por dispositivos móveis e convencional



Fonte: relle.ufsc.br.

Em síntese, nos estudos realizados pelos pesquisadores dos projetos supracitados, entre as principais vantagens do uso dos laboratórios remotos, estão: a possibilidade de interação com equipamentos reais, trazendo motivação aos estudantes que utilizam esses recursos; a não restrição nem de tempo e nem de espaço, o que engaja e traz conforto aos alunos no seu processo de construção de conhecimento, e por fim; o custo baixo de montagem, utilização e manutenção por parte das instituições de ensino (DE JONG; SOTIRIOU; GILLET, 2014; MA; NICKERSON, 2006; SIMÃO et al., 2016; ZUBÍA et al., 2017).

Chitungo et al. (2020) exploraram o uso dos laboratórios remotos no ensino de Física no ensino médio, com 454 alunos, de 13 turmas, de uma escola pública de Uberlândia, MG. Os resultados obtidos indicaram uma impressão positiva dos alunos, especialmente quanto às suas percepções de aprendizagem, satisfação e utilidade. Bishop et al. (2021) buscaram comparar as percepções dos alunos da Universidade de Sheffield ao realizar diferentes atividades práticas durante a pandemia da Covid-19. Cada grupo de alunos realizou atividades práticas em um dos seguintes formatos: atividades presenciais em laboratório com restrições rigorosas de distanciamento social; kits de *take-home*; laboratório remoto; simulações, individual e em grupo, e; vídeos de experimentos. Os resultados mostraram que os kits de *take-home*, laboratório remoto e atividades de simulação individual receberam um nível comparável de

satisfação às atividades em laboratório presencial.

Garcia-Zubia et al. (2016) investigaram o desempenho conceitual de 188 estudantes de nível superior de diferentes universidades da Espanha, durante os anos de 2013 a 2015. Os resultados revelaram que o laboratório contribuiu, significativamente, para o desempenho dos acadêmicos. Conforme os autores, a principal conclusão é de que o uso de LR na educação eletrônica básica ajudou os alunos em sua aprendizagem, uma vez que os resultados foram válidos para os cinco grupos de alunos diferentes, em dois cursos diferentes, em três cidades, com três professores diferentes e dois níveis educacionais. “A variedade de contextos e as fortes evidências coletadas sugerem que esse efeito positivo pode ser válido para atividades semelhantes com base no uso de laboratórios remotos” (GARCIA-ZUBIA et al., 2016, p. 154).

Por outro lado, assim como ocorre com outras tecnologias, esses laboratórios apresentam algumas limitações. Nesse sentido, autores expõem que, muitas vezes, o fluxo de vídeo disponibilizado em uma experimentação remota é um *feedback* simplificado que não permite a total exploração da experiência realizada (VARGAS et al., 2013). Além disso, estes autores acrescentam que a experimentação remota possui limitações quanto às áreas que se pode explorar; experimentações nas áreas de Química ou de Biologia, por exemplo, podem ser um problema para esses laboratórios, devido à sua complexidade. Além disso, apesar de permitir o manuseio de equipamentos reais, a falta de contato físico direto pode ser considerada uma desvantagem, pois pode reduzir a sensação de realismo.

Diante disso, em estudos recentes, esforços vêm sendo dedicados a pesquisas que pretendem aprimorar a experimentação remota, unindo outras tecnologias que possam explorar todo o seu potencial e, dessa forma, reduzindo suas limitações. É o caso dos estudos que combinam técnicas de RA, unindo aspectos dos laboratórios virtuais com os laboratórios remotos, a fim de enriquecer as experiências realizadas nesses laboratórios (RODRIGUEZ-GIL et al., 2017).

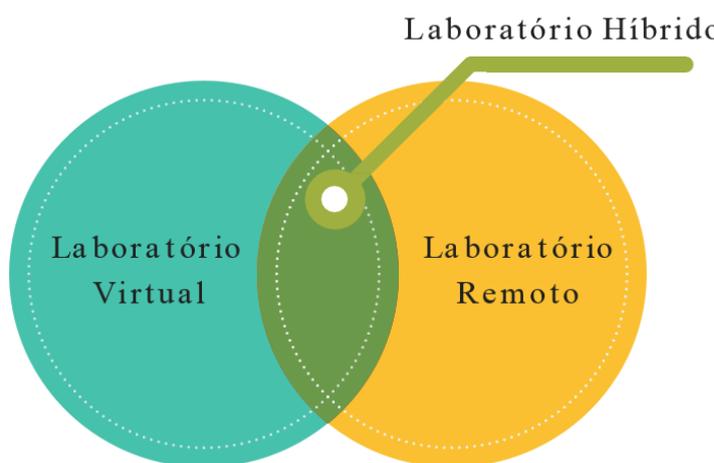
Assim, esta união pode produzir um valor agregado para a experimentação remota, aumentando a sensação de presença e de realidade, além de abrir um leque de possibilidades no desenvolvimento de novos experimentos em diferentes áreas do conhecimento (ODEH; SHANAB; ANABTAWI, 2015; VARGAS et al., 2013). Essas possibilidades serão melhores detalhadas na próxima seção, que visa a explorar o uso da realidade aumentada em combinação com os laboratórios remotos.

2.2.3 Laboratórios Híbridos

Conforme Rodriguez-Gil, Zubia, Orduña e Lopez-de-Ipina (2017), atualmente, a linha que diferencia laboratórios remotos e virtuais está ficando cada vez mais tênue, devido ao surgimento de laboratórios que possuem características de ambas tecnologias. Dessa forma, unindo os aspectos dos laboratórios remotos e virtuais, é possível explorar: (i) o poder que os laboratórios virtuais possuem em simplificar, adaptar e exibir fenômenos não observáveis, e; (ii) a capacidade dos laboratórios remotos de pesquisar o real, o que pode contribuir para o ensino da complexidade do real – que, por vezes, não pode ser explorado nos modelos educacionais (RODRIGUEZ-GIL et al., 2017).

Assim, surgem formas avançadas de laboratórios que não só imitam experiências práticas, mas também fornecem novos recursos, criando possibilidades diferentes das encontradas em laboratórios tradicionais. Rodriguez-Gil et al. (2017) definem esses novos modelos como laboratórios híbridos. Os laboratórios híbridos (Figura 4), basicamente, misturam elementos virtuais e remotos na tentativa de aproveitar as vantagens proporcionadas por cada um desses, a fim de oferecer realismo, custo-benefício e recursos adicionais – como *gamificação* ou ambientes virtuais (RODRIGUEZ-GIL et al., 2017).

Figura 4 - Exemplificação do conceito de Laboratório Híbrido



Fonte: Elaborada pela autora com base em Rodriguez-Gil et al. (2017).

Para a criação desses laboratórios híbridos, alguns estudos aplicam a Realidade Aumentada. A RA permite que o fluxo de vídeo transmitido ao usuário possa ser aprimorado, misturando elementos virtuais gerados por computador (VARGAS et al., 2013).

Para Andújar e Márquez (2012), os Laboratórios Remotos que incorporam Realidade

Aumentada são um passo adiante nos processos de ensino e aprendizagem apoiados em laboratório *online*. Juntas, essas tecnologias são capazes de conectar o mundo real (dos laboratórios remotos) e o mundo virtual (dos laboratórios virtuais) para configurar cenários nos quais a realidade e a virtualidade interagem entre si, moldando nossos ambientes educacionais (ANDÚJAR; MÁRQUEZ, 2012).

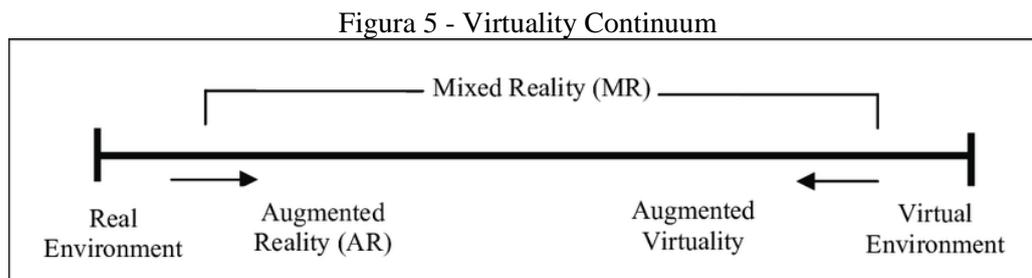
Além disso, Andújar, Mejías e Marquez (2011) ressaltam que técnicas de laboratórios remotos com RA podem representar economia e versatilidade; isso porque um único laboratório remoto pode ser usado para diferentes experimentos – alterando apenas os arranjos virtuais, sem ter que modificar o ambiente físico.

Entretanto, os laboratórios híbridos – especialmente os que utilizam de RA – são relativamente novos e a literatura dedicada às suas arquiteturas, modelos e diretrizes ainda é escassa (RODRIGUEZ-GIL et al., 2017). Ainda assim, é possível encontrar estudos-piloto a fim de verificar a efetividade desse conceito. A próxima seção (2.1.3.1) apresenta o conceito de Realidade Aumentada e os benefícios que o uso desse recurso pode trazer para os processos de ensino e aprendizagem. Posteriormente, a seção seguinte (2.1.3.2) detalha os Laboratórios Remotos Aumentados, por meio dos resultados de uma revisão sistemática da literatura.

2.2.3.1 Realidade Aumentada

A Realidade Aumentada (RA) é o processo de sobreposição, no mundo real, de dados gerados por computador, ampliando assim o acesso à informação, gerando novas oportunidades de interação (AZUMA, 1997). Diferentemente da Realidade Virtual, do qual o usuário é transportado para um ambiente totalmente virtual, a RA é um sistema que complementa o mundo real com objetos gerados por computador; dessa forma, elementos virtuais e reais coexistem no mesmo espaço no mundo real (AZUMA et al., 2001).

Milgram e Kishino (1994), em seus estudos sobre realidade mista, destacam que a RA também se diferencia da virtualidade aumentada – na qual objetos reais aumentam o ambiente virtual. A Figura 5 apresenta uma escala contínua que varia entre a realidade completamente virtual e a realidade completamente real – e as possibilidades dessa combinação. Os autores chamam essa trajetória de “continuidade da virtualidade”. Desse modo, para Milgram e Kishino (1994), a RA está mais próxima do ambiente real; assim, são os objetos virtuais que aumentam o mundo real. Com isso, para Azuma et al. (2001), uma aplicação de RA, além de combinar objetos reais e virtuais, deve alinhá-los entre si e deve ser executada de forma interativa e em tempo real.



A Realidade Aumentada tem sido estudada desde meados dos anos 90, contudo, tem ganhado destaque nos últimos anos – principalmente pela popularização de dispositivos portáteis que permitem o acesso simplificado a esse tipo de recurso. Nesse cenário, estudos têm demonstrado o potencial da RA para a educação como ferramenta de apoio nos processos de ensino e aprendizagem. Conforme Frank e Kapila (2017), a RA vem sendo aplicada e estudada com o objetivo de proporcionar experiências tecnológicas de aprendizagem visualmente mais atraentes em diversas áreas do conhecimento, permitindo que conceitos que são ensinados nas aulas tradicionais possam ser melhor compreendidos com o uso de multimídia interativa e experiência prática.

Os autores supracitados apresentam uma aplicação que utiliza técnicas de RA para aumentar a interação com bancos de ensaio de laboratório para o ensino de Ciência e Engenharia (FRANK; KAPILA, 2017). No estudo, Frank e Kapila (2017) destacam os recursos de detecção, armazenamento, computação e comunicação (SSCC - *Sensing, Storage, Computation, Communication*) dos dispositivos móveis como forma para superar as limitações de equipamentos de laboratório – melhorando a relação custo-benefício e a portabilidade de plataformas para orientar práticas laboratoriais por meio da realidade aumentada. Da mesma forma, os trabalhos de Ibáñez, Di-Serio, Villarán-Molina e Delgado-Kloos (2016) e Martín-Gutiérrez et al. (2015) apresentam sistemas baseados em RA para dispositivos móveis para o ensino de princípios básicos de eletricidade.

O primeiro estudo apresenta um sistema que combina técnicas de RA com estratégias de suporte a aprendizagem em um ambiente que ajuda os alunos a descobrir os conceitos iniciais sobre a eletricidade. Já Martín-Gutiérrez et al. (2015) implementaram diferentes aplicativos de RA a fim de melhorar a aprendizagem com foco na autonomia dos estudantes. Os pesquisadores desenvolveram três aplicativos. O primeiro é um assistente que orienta o aluno nas tarefas que ele deve executar no laboratório prático, apresentando animações em 3D que são sobrepostas aos painéis práticos e indicam como os componentes (fios, bobinas, ímãs, rotor, etc) devem ser conectados para a criação de diferentes tipos de instalações. O segundo aplicativo desenvolvido

pelo grupo visa a auxiliar os alunos na leitura dos planos elétricos, ajudando na interpretação de símbolos e imagens complexas da área de Eletromecânica. Por fim, os autores apresentam um livro de RA com conteúdo teórico sobre eletromagnetismo e princípios operacionais de máquinas elétricas – o aplicativo de RA permite a apresentação de animações 3D e vídeos juntamente com os textos que contribuem na compreensão teórica dos conceitos.

Joo-Nagata et al. (2017), igualmente, relatam o uso de Realidade Aumentada vinculada a dispositivos móveis. Os autores desenvolveram um aplicativo utilizando técnicas de RA juntamente com *Mobile Pedestrian Navigation* (MPN) para promover o ensino dos patrimônios históricos e culturais da cidade de Santiago, no Chile. No estudo, os pesquisadores concluíram que a abordagem explorando *Mobile Learning* obteve melhores resultados quando comparada a uma abordagem puramente E-learning.

Outros estudos destacam que a realidade aumentada pode ser utilizada de diferentes formas e, sobretudo, tem potencial para ser combinada com outras tecnologias – o que permite a exploração de novos arranjos de integração de TIC na educação. É o que demonstram os trabalhos de Zarzuela et al. (2013) e de Chen, Ho e Lin (2015), que utilizam de realidade aumentada em jogos sérios, explorando a interatividade da RA e a diversão dos *games*.

No estudo de Zarzuela et al. (2013), os autores apresentam um zoológico virtual de RA voltado para crianças. O jogo é composto por um cenário com árvores, pedras e animais que pode ser projetado em qualquer lugar por meio de um dispositivo móvel e um marcador impresso. Durante o jogo, o aluno pode escolher entre diferentes animais para conhecer mais sobre ele, além de responder um *Quiz* relacionado ao animal escolhido.

Já os pesquisadores Chen, Ho e Lin (2015) construíram um jogo de tabuleiro que combina material analógico e técnicas de RA para o ensino da cadeia alimentar oceânica; isso, por meio de um jogo de pesca. O jogo é composto por um tabuleiro e quatro marcadores interativos. Os alunos devem mover os marcadores sobre o tabuleiro, que, conforme a área selecionada, apresenta diferentes tipos de peixes, iscas e ações disponíveis para aquela área do jogo; aos alunos, então, cabe escolher as opções mais adequadas para obter êxito na pesca.

Cabero-Almenara e Barroso-Osuna (2016), em seu estudo bibliográfico sobre o uso da RA na educação, concluíram que entre as principais características da RA para o ensino estão: o enriquecimento da informação; o entendimento de fenômenos e conceitos complexos; a individualização do ensino e adaptação a diferentes tipos de inteligências; a aprendizagem onipresente e contextualizada, convertendo qualquer espaço físico em um ambiente acadêmico estimulante; e o aumento da motivação com valores muito positivos de satisfação, além de melhora nos resultados acadêmicos.

Kellems (2020) justifica a sua importância para educação a partir da Teoria da Aprendizagem Multimídia de Mayer (1997), da qual o autor parte do princípio de que palavras e imagens são mais eficazes para aprender do que apenas palavras. Deve-se destacar que, para Mayer (1997), palavras são parte inerente de toda mídia impressa ou digital, escrita ou falada; da mesma forma, imagens podem se apresentar em formato digital ou impresso, de modo estático ou animado. Nesse sentido, seguindo os preceitos da aprendizagem multimídia, pode-se dizer que a utilização de animações construídas em ambientes online – como vídeos, jogos, aplicativos dinâmicos, laboratórios virtuais e a RA – podem promover melhor aprendizado.

Thees et al. (2020) afirmam que a RA, por permitir a integração de objetos virtuais e reais, pode contribuir principalmente para os princípios de contiguidade temporal e espacial, destacados por Mayer e Moreno (2003) na Teoria de Aprendizagem Multimídia. Os autores desenvolveram um sistema de RA para o ensino de condução de calor em metal. Antes, os alunos precisavam utilizar uma câmera térmica, capturavam uma imagem da distribuição de temperatura e submetiam a um *software* para converter os dados de temperatura da imagem em um gráfico. Com o sistema de RA, os dados de medição foram inseridos em tempo real, em forma de elementos virtuais ao lado dos objetos físicos correspondentes e, assim, alcançando um formato integrado de informações. Os resultados mostraram que os alunos perceberam uma redução significativa na carga cognitiva quando comparado com o cenário tradicional – embora não tenham apresentado um ganho de aprendizagem em um teste conceitual.

Em outro estudo do mesmo grupo de pesquisa, Altmeyer et al. (2020) investigaram as experiências práticas dos alunos com circuitos elétricos básicos em prática de laboratório. Os autores compararam um formato integrado, baseado em RA, que apresentou dados de medição próximos aos componentes elétricos, com um formato não integrado tradicional. Ambas as condições relataram carga cognitiva comparável, mas apenas a condição RA apresentou ganhos significativos de aprendizado.

Para Ferrer-Torregrosa et al. (2016), o principal diferencial da RA é a possibilidade de visualização e interação com modelos 3D de forma atraente e intuitiva. Os autores utilizaram RA sobrepondo modelos 3D em imagens para o ensino de Anatomia. No estudo, três tipos de materiais didáticos foram comparados: anotações com imagens, vídeos e RA. Os alunos que utilizaram a RA obtiveram um desempenho acadêmico significativamente melhor, havendo uma menor dispersão nas notas em comparação com os outros materiais. Esse resultado é relacionado pelos autores com a importância do uso de modelos tridimensionais, os quais os alunos consideram relevantes para a compreensão de conceitos complexos. Com isso, os estudantes indicaram que a RA pode aumentar a motivação e o interesse pelo assunto estudado.

Corroborando com os resultados de Ferrer-Torregrosa et al. (2016), Cabero-Almenara; Barroso-Osuna (2016) afirmam que a RA promove o desenvolvimento de habilidades gráficas por meio da percepção de conteúdo espacial e objetos 3D e que isso contribui para melhores resultados educacionais. Wu et al. (2013), também, destacam o uso de modelos 3D em sistemas de RA em sua revisão da literatura; e acrescentam que aspectos como a possibilidades de utilizar dispositivos móveis, conexão sem fio e recursos de localização permitem um aprendizado onipresente, situado e sensível ao contexto. Além disso, reforçam que a RA permite a visualização de fenômenos invisíveis; por exemplo, a visualização de conceitos abstratos como o fluxo de ar ou campos magnéticos – incluindo moléculas, vetores e símbolos que podem ser alinhados com elementos físicos reais. Para Akçayır e Akçayır (2017) essa característica da RA aumenta a motivação dos alunos e os ajuda a adquirir melhores habilidades de investigação. A Tabela 2 apresenta alguns estudos recentemente desenvolvidos na educação com RA, identificando as principais características da tecnologia levantadas pelos autores e os resultados educacionais mais importantes.

Tabela 2 - Sistematização de alguns estudos quanto às principais características de RA e resultados educacionais explorados

Estudos	Principais características da RA	Resultados educacionais
(ALTMAYER et al., 2020); (THEES et al., 2020)	Ilustra conceitos espaciais e temporais; Fornece interação intuitiva; Permite visualizar e interagir fenômenos em 3D; Oferece contiguidade no tempo e no espaço.	Redução da carga cognitiva em estudos práticos; Ganho no desempenho acadêmico.
(Cabero-Almenara; Barroso-Osuna, 2016)	Fornece interação intuitiva; Proporciona uma sensação de presença e imersão.	Ganho no desempenho acadêmico; Motivação; Capacidade espacial; Desenvolvimento de habilidades gráficas através da percepção de conteúdo espacial e objetos 3D.
FERRER-TORREGROSA et al. (2016)	Permite visualizar e interagir fenômenos em 3D.	Ganho no desempenho acadêmico; Motivação; Interesse; Atenção.
(WU et al., 2013)	Imersão; Permite visualizar e interagir fenômenos em 3D.	Motivação.
(SÁEZ-LÓPEZ et al., 2020)	Permite visualizar e interagir fenômenos em 3D.	Motivação; Criatividade; Interesse.
(AKÇAYIR; AKÇAYIR, 2017)	Permite visualizar e interagir fenômenos em 3D.	Motivação; Melhores habilidades de investigação.
(IBÁÑEZ et al., 2020)	(Outros estudos são necessários para identificar quais características específicas de RA podem influenciar a aprendizagem dos alunos).	Motivação; Ganho no desempenho acadêmico.

Fonte: Elaborada pela Autora.

A motivação é destaque em diversos estudos que exploram a RA para o ensino (AKÇAYIR; AKÇAYIR, 2017; CABERO-ALMENARA; BARROSO-OSUNA, 2016; DI SERIO; IBÁÑEZ; KLOOS, 2013; LAINUFAR; JOHAR, 2020; SÁEZ-LÓPEZ et al., 2020), assim como o aumento do desempenho acadêmico (ALTMAYER et al., 2020; FERRER-TORREGROSA et al., 2016; THEES et al., 2020). Para Sáez-López et al. (2020), a RA promove entusiasmo por parte dos alunos, o que leva a vantagens significativas em criatividade, inovação, participação e, principalmente, na motivação dos participantes.

Nesse sentido, Ibáñez et al. (2020) desenvolveram um aplicativo de RA e o compararam com atividades baseadas na Web para o ensino de Geometria. Entre os resultados, os autores constataram que os alunos que utilizaram a RA tiveram um desempenho significativamente melhor, além de apresentarem maior motivação para a realização das atividades educacionais, principalmente com melhores indicativos de atenção e satisfação. Ibáñez et al. (2020) afirmam que são necessários outros estudos para identificar quais características específicas da RA podem influenciar nos resultados encontrados. Para Cabero-Almenara e Barroso-Osuna (2016), a RA fornece ferramentas empolgantes para o ensino – o que contribui diretamente no melhor desempenho acadêmico.

Percebe-se que as principais vantagens do uso da RA para o ensino versam no fornecimento de informações contextualizadas, na visualização de fenômenos invisíveis e na interação com objetos 3D integrados no mundo real – favorecendo para a motivação, o interesse e as atitudes positivas em relação às disciplinas que exigem maior nível de abstração (HERPICH, 2019; IBÁÑEZ et al., 2016).

Outros estudos têm utilizado a RA para aumentar a sensação de realismo e melhorar o *feedback* de laboratórios remotos usados para promover práticas laboratoriais em disciplinas STEM (MAITI; MAXWELL; KIST, 2017; MEJÍAS et al., 2013; ODEH; SHANAB; ANABTAWI, 2015). Nesses casos, a RA é utilizada para adicionar módulos virtuais que podem interagir com *hardwares* dos laboratórios remotos de forma bidirecional. Dessa forma, a RA permite que os estudantes experimentem novas sensações e explorem experiências de aprendizagem que, em alguns casos, podem exceder às oferecidas pelas aulas em laboratórios tradicionais (RODRIGUEZ-GIL et al., 2017).

2.2.3.2 Laboratório Remoto Aumentado

Por esta tese contemplar o desenvolvimento de um Laboratório Remoto Aumentado – e por se tratar de uma tecnologia emergente, da qual seus estudos, desenvolvimento e disponibilização ainda são incipientes – fez-se necessário o desenvolvimento de uma revisão

sistemática da literatura (RSL), a fim de identificar as principais implicações sobre o tema.

Os trabalhos aqui apresentados são resultados de uma RSL guiada conforme o processo descrito no Cochrane Handbook (COCHRANE, 2019). O Cochrane Handbook determina a sequência de sete passos para a realização da RSL, que passa pela formulação da pergunta; pela localização e seleção das bases de dados para pesquisa; pela avaliação crítica dos estudos, coleta, análise e interpretação dos dados, bem como o aprimoramento e a atualização da revisão (DAGOSTIN; FREIRE; GUIMARÃES FILHO, 2014, p.4).

Dessa forma, buscou-se, com a realização da RSL, identificar de que forma a Realidade Aumentada é utilizada em Laboratórios Remotos em um contexto educacional, e quais os avanços e desafios da área. Procurou-se identificar: (i) que tipo de LR é desenvolvido com a ajuda da RA e quais as principais vantagens dessa união; (ii) as características das publicações sobre o tema; (iii) para quais níveis educacionais os laboratórios remotos de RA são desenvolvidos; (iv) os principais enfoques desses estudos, e; (v) quais as tecnologias mais utilizadas para desenvolver aplicações de RA em LR.

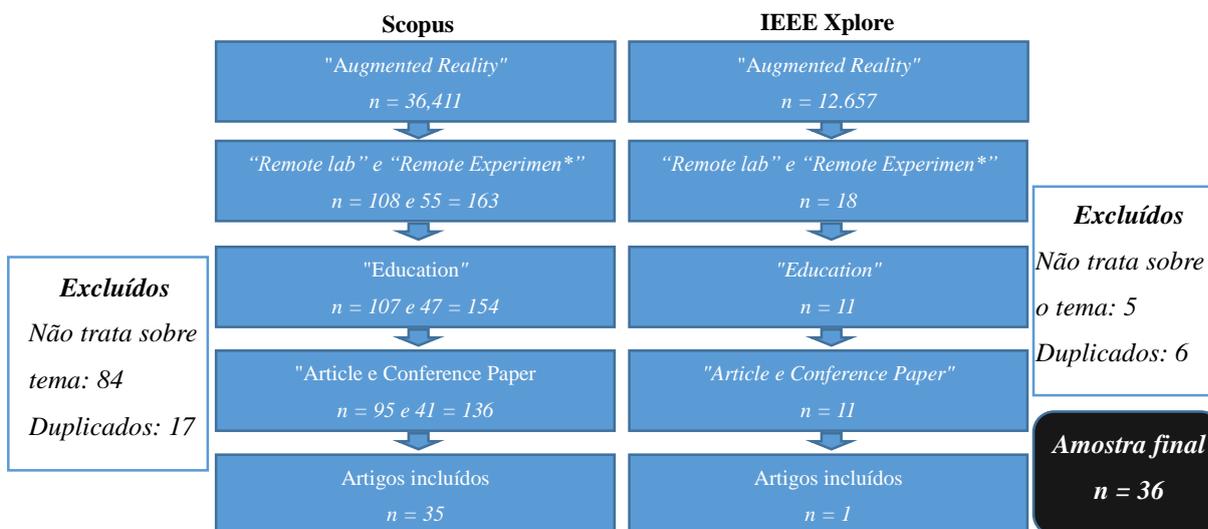
Vale mencionar que essa revisão sistemática da literatura foi realizada, inicialmente, no começo de 2018, a fim de nortear as ações desta pesquisa de tese; entretanto, a fim de encontrar novas tendências no campo de estudo, a revisão foi atualizada no primeiro semestre de 2022.

As variáveis identificadas foram “Realidade Aumentada” e “Laboratório Remoto”, com Unidade de Observação: “aplicado a Educação”. Optaram-se pelos bancos de dados Scopus, Portal de Periódico da CAPES, IEEE *Xplore Digital Library* e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD).

Dessa forma, para fins de pesquisa na base de dados internacionais (Scopus e IEEE *Xplore*), foram selecionadas as seguintes palavras-chave, de forma hierárquica: “*Augmented Reality*”, “*Remote lab*” e *Education*. Ao fim, foram aplicados dois filtros de tipo de documentos: *Article e Conference Paper*. Para abranger um maior número de trabalhos, também foram realizadas pesquisas utilizando a palavras-chave: “*Remote Experimen**”, a fim de contemplar os trabalhos que utilizam a terminologia *Remote Experimentation* e *Remote Experiments* para laboratórios remotos.

Na base de dados Scopus, foi primeiramente utilizado o termo “*Augmented Reality*”. A busca realizada com tal palavra-chave ocorreu em: títulos, resumo, palavra-chave. Foram encontradas 36,383 publicações. Refinando a busca, utilizando a palavra-chave “*Remote lab*”, retornaram 108 publicações, e; com a palavra-chave “*Remote Experimen**”, foram obtidas 55 publicações, totalizando 162 artigos (Figura 6).

Figura 6 - Resultados das buscas em cada base de dados – SCOPUS, IEEE Xplore Digital



Fonte: Elaborada pela Autora.

Com o filtro “*Education*” restaram 148 publicações. Na sequência da aplicação dos filtros no sistema de busca, incluiu-se apenas *Article* e *Conference Paper*, eliminando os artigos em processo de publicação e as revisões de conferência. Dessa forma, se obteve um total de 137 publicações.

Nesta etapa, realizou-se a leitura do título, do resumo e da introdução das 137 publicações encontradas. Desse total, 17 artigos foram excluídos por serem duplicados; outros 85 artigos foram excluídos por não tratarem do tema proposto – principalmente por apresentarem estudos apenas com o uso da RA ou, ainda, trabalhos com estudo unicamente utilizando LR. Também foram excluídos os artigos que tratavam do uso de RA em Laboratórios *hands-on*. Além disso, devido a RSL ser atualizada em 2022, foi excluído um estudo publicado pela autora dessa tese, uma vez que o objetivo da revisão foi o de nortear as ações desta pesquisa de tese, identificando lacunas e tendências na literatura. Portanto, a amostra final conta com 35 artigos. A Tabela 3 apresenta os critérios de inclusão e de exclusão dos artigos para a análise.

Tabela 3 - Critérios de exclusão e inclusão dos artigos para análise

Critérios de exclusão	Critérios de inclusão
Artigos que exploram apenas RA	Artigos que integram Realidade Aumentada em Laboratórios Remotos
Artigos que exploram apenas Laboratório Remoto	Artigos disponíveis em português, inglês ou espanhol
Artigos que utiliza RA em Laboratórios <i>hands-on</i>	

Fonte: Elaborada pela Autora.

Na base de dados *IEEE Xplore Digital*, com o termo “*Augmented Reality*”, foram

encontradas 12.657 publicações. Com o refinamento da busca, utilizando a palavra-chave “*Remote lab*”, o sistema retornou 6 publicações, e; com a palavra-chave “*Remote Experimen**” o sistema apresentou 12 publicações, totalizando 18 estudos. Aplicando o filtro com a palavra-chave “*Education*”, ficaram 11 artigos. Desses, 6 foram excluídos da amostra final por já constarem na pesquisa realizada na base Scopus e 5 por não se tratarem de artigos em periódicos ou de conferências – resultando, portanto, em apenas 1 publicação.

Foram realizadas ainda pesquisas na base de dados BDTD, para identificar trabalhos de teses e dissertações que contemplem o assunto, e no Portal de Periódicos da CAPES. Utilizando o mesmo protocolo de busca, em ambas as bases, não foram obtidos trabalhos que integrassem Realidade Aumentada aos Laboratórios Remotos. Com isso, ao final das pesquisas, aplicação dos filtros e dos critérios de exclusão, foram selecionados para a análise 36 artigos, que se configuram na amostra final do estudo.

Os 36 artigos estão relacionados na tabela abaixo, a qual apresenta o título e o autores.

Tabela 4 - Títulos e autores dos artigos encontrados sobre RA aplicada em Laboratórios Remotos

Título	Autores
1. Remote experimentation: Improving user perception using augmented reality	(SALZMANN; GILLET; HUGUENIN, 2000)
2. A multimodal interface to control a robot arm via the web: A case study on remote programming	(MARÍN et al., 2005)
3. Augmented reality for the improveznt of remote laboratories: An augmented remote laboratory	(ANDÚJAR; MEJÍAS; MARQUEZ, 2011)
4. A Pilot Study of the Effectiveness of Augmented Reality to Enhance the Use of Remote Labs in Electrical Engineering Education	(MEJÍAS; ANDÚJAR, 2012)
5. Remote augmented reality engineering labs	(ODEH et al., 2012)
6. Augmented reality internet labs versus hands-on and virtual labs: A comparative study	(SHANAB et al., 2012)
7. Work in progress: Enhance CS/CE student learning in computer architecture and organization through a remote instrument control lab with mixed reality	(LO et al., 2012)
8. Interaction of real robots with virtual scenarios through augmented reality: Application to robotics teaching/learning by means of remote labs	(MEJÍAS; ANDÚJAR, 2013)
9. A complete solution for developing remote labs	(MEJÍAS et al., 2013)
10. A remote engineering lab based on augmented reality for teaching electronics	(ODEH et al., 2013)
11. Using augmented reality in remote laboratories	(VARGAS et al., 2013)
12. Online experimentation: Experiment@Portugal 2012	(CARDOSO et al., 2014)
13. Augmented Reality based monitoring of the remote-lab	(CHACZKO et al., 2014)

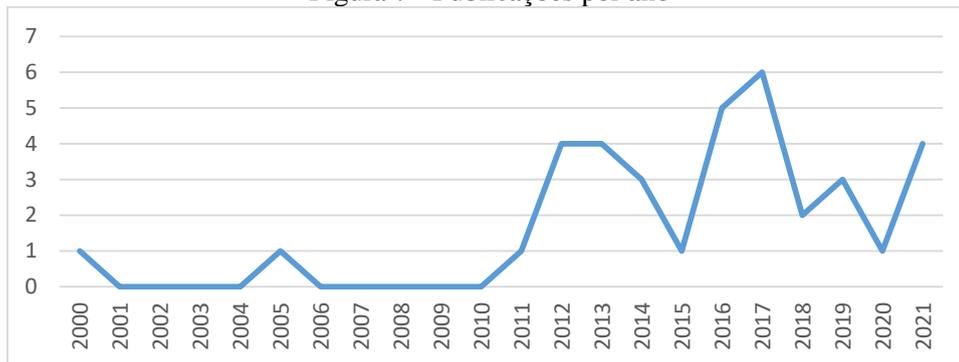
14. Serious games, remote laboratories and augmented reality to develop and assess programming skill	(GUENAGA et al., 2014)
15. Augmented reality internet labs versus its traditional and virtual equivalence	(ODEH; SHANAB; ANABTAWI, 2015)
16. An approach to develop a LabVIEW based augmented reality application for smartphones	(GRANADO; ABAD; PALOMEQUE, 2016)
17. Research challenges in future laboratory-based STEM education	(LASICA et al., 2016)
18. Key aspects of integrating augmented reality tools into peer-to-peer remote laboratory user interfaces	(MAITI; KIST; SMITH, 2016a)
19. Augmented and mixed reality features and tools for remote laboratory experiments	(SMITH, MARK et al., 2016)
20. OptoBridge: Assisting skill acquisition in the remote experimental collaboration	(SUN et al., 2016)
21. Virtual and Remote Laboratory with the Ball and Plate System	(FABREGAS; DORMIDO-CANTO; DORMIDO, 2017)
22. Augmented reality in laboratory-based education: Could it change the way students decide about their future studies?	(LASICA et al., 2017)
23. Using marker based augmented reality and natural user interface for interactive remote experiments	(MAITI; MAXWELL; KIST, 2017)
24. Programming and testing a PLC to control a scalable industrial plant in remote way	(MÁRQUEZ et al., 2017)
25. Adding augmented reality to laboratory experimentation	(RODRIGUES et al., 2017)
26. Towards new multiplatform hybrid online laboratory models	(RODRIGUEZ-GIL et al., 2017)
27. Augmented Reality for Remote Laboratory Improving Educational Learning: Using Elevated Particle Swarm Optimization in Object Tracking Scheme	(ZANDAVI; CHUNG, 2018)
28. Remote and Virtual Labs for Engineering Education 4.0: Achievements of the ELLI project at the TU Dortmund University	(GRODOTZKI; ORTELT; TEKKAYA, 2018)
29. Research trends in the use of augmented reality in science education: Content and bibliometric mapping analysis	(ARICI et al., 2019)
30. Applying Augmented Reality to New or Existing Remote Access Laboratories	(SMITH et al., 2019)
31. Mimicking of face-to-face experimental venue affordances in an on-line real-time supervised remote experimental learning context	(BANKY; BLICBLAU, 2019)
32. Virtual reality remote access laboratory for teaching programmable logic controller topics	(YERDEN; AKKUŞ, 2020)
33. Extended Reality (XR) Remote Research: a Survey of Drawbacks and Opportunities	(RATCLIFFE et al., 2021)
34. Forms of additions to physical models of objects of study in remote laboratories	(HENKE et al., 2021)
35. An Augmented Reality Approach to Remote Controlling Measurement Instruments for Educational Purposes During Pandemic Restrictions	(LICCARDO et al., 2021)

36. Exploiting Augmented Reality and Internet of Things for Gamma Ray Experiments in Educational Field	(CAPUTO et al., 2021)
--	-----------------------

Fonte: Elaborada pela Autora.

O primeiro registro encontrado sobre o tema é do ano de 2000; entretanto, nos próximos 10 anos ocorreu apenas uma publicação, em 2005. A partir de 2011, todos os anos apresentaram pesquisas na área. Os anos de 2016 e de 2017 registraram o maior número de publicações (Figura 7).

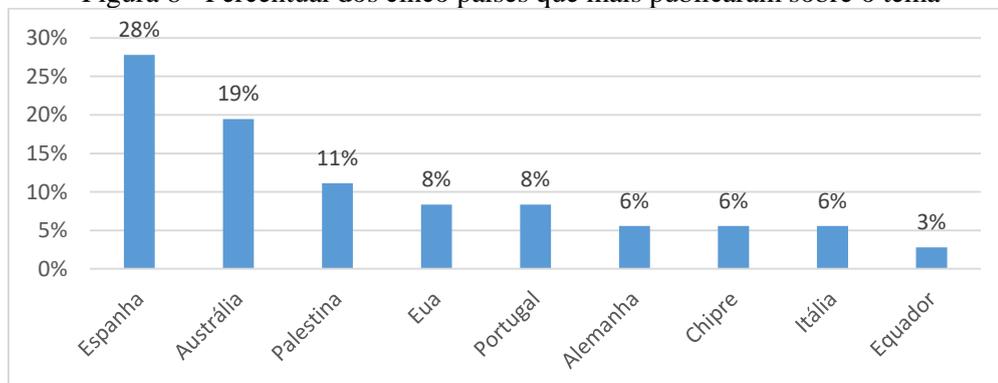
Figura 7 - Publicações por ano



Fonte: Elaborada pela Autora.

Os países que mais publicaram sobre o tema são a Espanha, com 10 trabalhos, representando 28% dos trabalhos; seguida pela Austrália, com 7 trabalhos (19%). Ao longo dos anos, os espanhóis e os australianos têm se destacado em estudos que envolvem o uso de LR na educação (DOS SANTOS; FERNANDES; DA SILVA, 2017) (Figura 8). Vale destacar que o Brasil não apresentou estudos sobre o tema – o que justifica os resultados das pesquisas nas bases de dados nacionais.

Figura 8 - Percentual dos cinco países que mais publicaram sobre o tema



Fonte: Elaborada pela Autora.

Também foi apurado para quais níveis de ensino são desenvolvidas as soluções de Laboratórios Remotos com RA. A maioria dos artigos, 69,4%, relaciona-se a aplicações no ensino superior em cursos de graduação e 5,5% em cursos de pós-graduação, sendo o ensino de Engenharia o principal foco desses estudos. Em geral, os autores justificam que os cursos em engenharias necessitam da prática em laboratórios para a inserção do egresso no mercado de trabalho e que a experimentação é de fundamental importância para a aprendizagem da área. Vale destacar que nenhum dos estudos têm foco no ensino básico (fundamental ou médio). Ainda foram encontrados estudos (25,1%) que não informaram para qual nível de ensino o recurso foi desenvolvido.

A fim de conhecer como é utilizado a RA em Laboratórios Remotos na educação, foi realizada uma análise referente ao enfoque dos estudos; ou seja, sob qual ponto de vista os artigos foram desenvolvidos. Dessa forma, após a leitura dos artigos, foram identificadas as seguintes categorias:

- **Descrição do Experimento:** relaciona os artigos que descrevem o LR e/ou seus aspectos técnicos. Alguns discorrem sobre seus possíveis benefícios, porém não é apresentada a aplicação do laboratório em sala de aula.
- **Avaliação Técnica do protótipo:** dessa categoria fazem parte os artigos que, além de descrever o experimento, realizam uma avaliação técnica do protótipo.
- **Avaliação da aceitação da ferramenta:** aqui constam os artigos que, além da descrição do experimento, realizam uma avaliação da sua aceitação junto aos estudantes e/ou professores. Nesses estudos, de modo geral, aplicam questionários de satisfação e motivação ao utilizar os laboratórios remotos de RA; em alguns casos comparando com o uso de LR tradicionais e laboratórios *hands-on*.
- **Aprendizagem:** nesta categoria foram contabilizados os artigos que focaram na avaliação dos possíveis benefícios dos laboratórios remotos de RA para os processos de ensino e aprendizagem, realizando algum tipo de análise sobre o desempenho de aprendizagem dos estudantes.

A Tabela 5 apresenta a frequência das publicações quanto ao seu enfoque, bem como relaciona os artigos de cada categoria.

Tabela 5 - Frequência e publicações quanto ao seu enfoque

Enfoque	Estudos	n	%
Descrição do Experimento	(SALZMANN; GILLET; HUGUENIN, 2000); (LO et al., 2012); (MEJÍAS et al., 2013); (VARGAS et al., 2013); (CHACZKO et al., 2014); (GUENAGA et al., 2014); (GRANADO; ABAD; PALOMEQUE, 2016) (MAITI; KIST; SMITH, 2016b); (SMITH, M. et al., 2016); (SUN et al., 2016); (FABREGAS; DORMIDO-CANTO; DORMIDO, 2017); (MAITI; MAXWELL; KIST, 2017); (MÁRQUEZ et al., 2017); (RODRIGUES et al., 2017); (GRODOTZKI; ORTELT; TEKKAYA, 2018); (ZANDAVI; CHUNG, 2018); (SMITH et al., 2019); (HENKE et al., 2021); (CAPUTO et al., 2021)	19	52,8%
Avaliação da aceitação da ferramenta	(ANDÚJAR; MEJÍAS; MARQUEZ, 2011); (MEJÍAS; ANDÚJAR, 2012); (ODEH et al., 2012); (SHANAB et al., 2012); (MEJÍAS; ANDÚJAR, 2013); (ODEH et al., 2013); (CARDOSO et al., 2014); (ODEH; SHANAB; ANABTAWI, 2015); (RODRIGUEZ-GIL et al., 2017); (LICCARDO et al., 2021); (RATCLIFFE et al., 2021)	11	30,6%
Rev. da literatura	(LASICA et al., 2016); (LASICA et al., 2017); (ARICI et al., 2019);	3	8,3%
Avaliação Técnica	(MARÍN et al., 2005).	1	2,8%
Aprendizagem	(BANKY; BLICBLAU, 2019); (YERDEN; AKKUŞ, 2020)	2	5,5%

Fonte: Elaborada pela Autora.

Como pode ser observado, mais de 50% dos artigos apresentam enfoque na descrição dos experimentos e/ou da sua infraestrutura e 30,6% dedicaram-se a avaliação da aceitação da ferramenta. O que chama a atenção é a baixa quantidade de estudos que se preocuparam com a avaliação dos aspectos educacionais. Apenas dois artigos realizaram algum tipo de análise sobre o desempenho dos estudantes. Vale destacar que quase 50% das revistas que publicaram sobre o tema não possuem enfoque educacional – preocupando-se, principalmente, com os aspectos tecnológicos das soluções apresentadas.

Também foram encontradas três revisões sistemáticas e um estudo que realizou a avaliação técnica do protótipo. As RSL encontradas não têm como objetivo entender o uso da RA em laboratórios remotos como descrito no atual estudo, mas, sim, pretendem identificar o uso de diferentes laboratórios na educação.

Entre as principais tecnologias de RA utilizadas para aprimorar as experiências remotas, estão o motor de jogo Unity3D, que permite o desenvolvimento de aplicativos com uso de imagens 3D; e bibliotecas de rastreamento de marcadores, como Vuforia. Para a criação de objetos 3D, foram utilizados *softwares* como Blender3D e Coin3D. E como protocolo de comunicação, dois estudos recentes utilizaram o MQTT (do inglês *Message Queue Telemetry Transport*) – um protocolo de comunicação entre máquinas otimizado para redes TCP/IP, que atualmente vem sendo muito utilizado em aplicações de Internet das Coisas (IoT) (Tabela 6).

Tabela 6 - Tipos de tecnologias para o desenvolvimento dos laboratórios híbridos

Estudos	Tecnologias utilizadas
Chaczko et al. (2014)	OpenCV
Sun et al. (2016); Maiti, Maxwell e Kist (2017)	Unity3D, Vuforia
Liccardo et al. (2021), Caputo et al. (2021)	Unity3D, Vuforia, MQTT
Rodrigues et al. (2017)	Unity3D, ARToolKit
Rodriguez-Gil et al. (2017)	Unity3D, WebGL
Andújar et al. (2011); Mejías e Marquez (2012); Mejías e Andújar (2013)	ARToolkit, OpenGL e Coin3D
Mejías et al. (2013); Márquez et al. (2017); Fabregas, Canto, Dormido (2017)	Easy Java Simulations
Maiti, Kist e Smith (2016); Smith et al (2016);	SNAP programming platform

Fonte: Elaborada pela Autora.

Além disso, três estudos utilizam a ferramenta *Easy Java Simulations* (EJS), desenvolvida por Esquembre (2004), da Universidade de Múrcia, que permite a criação de experimentos virtuais e remotos de forma simplificada. Outra plataforma identificada entre os estudos é a SNAP, uma plataforma de programação por meio de linguagem de programação em blocos (SMITH, MARK et al., 2016).

A seguir é realizado o detalhamento dos principais estudos aqui apresentados, explorando os tipos de experimentos desenvolvidos, as tecnologias utilizadas e os resultados centrais destes estudos.

2.2.3.2.1 Detalhamento dos trabalhos relacionados

No ano de 2000, uma abordagem unindo elementos de RA em laboratórios remotos já era apresentada pelos autores Salzmann, Gillet e Huguenin. No estudo, o laboratório remoto é usado para controlar um pêndulo invertido e os objetos virtuais utilizados são derivados das medições feitas no sistema real, que são combinadas com a imagem de vídeo da câmera webcam do experimento real (Figura 9) (SALZMANN; GILLET; HUGUENIN, 2000).

Figura 9 - Laboratório Remoto utilizando Realidade Aumentada



Fonte: (SALZMANN; GILLET; HUGUENIN, 2000).

Em estudos mais recentes, um grupo de pesquisadores da Universidade de Huelva propõe o conceito de Laboratório Remoto Aumentado (LRA) que, segundo os autores, permite aos alunos, por meio de técnicas de RA, “experimentar sensações e explorar experiências de aprendizagem que, em alguns casos, podem exceder as oferecidas pelas aulas tradicionais de laboratório” (ANDÚJAR; MEJÍAS; MARQUEZ, 2011, p. 492, tradução nossa). Conforme Adújar, Mejías e Marquez (2011), a RA é utilizada para adicionar módulos virtuais que podem interagir com *hardwares* dos laboratórios remotos de forma bidirecional. Assim, a proposta dos pesquisadores é enriquecer essas práticas – além de proporcionar um horário e local flexível para as experimentações dos alunos.

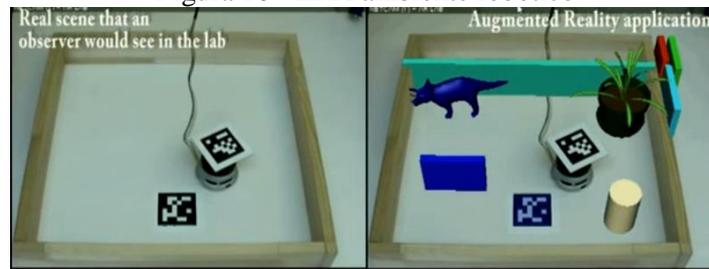
Nesse sentido, em 2011, Adújar, Mejías e Marquez apresentaram um LRA que corresponde a um sistema de controle digital baseado em uma placa de desenvolvimento FPGA (*Field Programmable Gate Array*) para o ensino de programação e de automação de sistemas, método aplicado em cursos de ensino superior nas áreas de engenharia (ANDÚJAR; MEJÍAS; MARQUEZ, 2011). Andújar Mejías e Marquez (2011) explicam que as placas FPGA são tradicionalmente utilizadas em aulas práticas em laboratório, nas quais os alunos são desafiados a desenvolverem sistemas que controlem periféricos de entrada e analisem as respostas por meio dos periféricos de saídas – tais como LEDs e displays LCD. Já com a utilização da RA os periféricos de entrada e de saída podem ser expandidos, criando complexos arranjos de componentes, simulando diferentes situações. No trabalho referido, os autores descrevem um tanque de água virtual controlável pela placa FPGA (ANDÚJAR et al., 2011; MEJÍAS; ANDÚJAR, 2012). Entretanto, segundo eles, por meio da Realidade Aumentada, a mesma placa FPGA pode gerar cenários diferentes, utilizando diferentes composições de objetos virtuais (ANDÚJAR; MEJÍAS; MARQUEZ, 2011).

O laboratório desenvolvido foi utilizado por 36 alunos e 10 professores do curso de Sistema Eletrônico da Universidade de Huelva, que avaliaram a utilidade dos recursos desenvolvidos e a sua aceitação para uso didático. A partir dos resultados, os autores puderam evidenciar que os Laboratórios Remotos Aumentados se apresentaram como uma opção útil para relacionar a teoria com a prática e, ainda, enfatizaram a facilidade de uso e interatividade como aspectos positivos.

Em outro estudo, em 2012, Andujar e Mejías apresentaram um novo LRA. Dessa vez, os autores desenvolveram um laboratório remoto utilizando robô Khepera II. Aqui, o objetivo era fazer com que um robô real pudesse se mover sem colidir com os obstáculos ao seu redor (Figura 10). Esses obstáculos são objetos virtuais que podem ser inseridos no cenário previamente ou de forma interativa, em tempo real, mesmo quando o robô está em movimento

(MEJÍAS; ANDÚJAR, 2012).

Figura 10 - LRA ambiente robótico

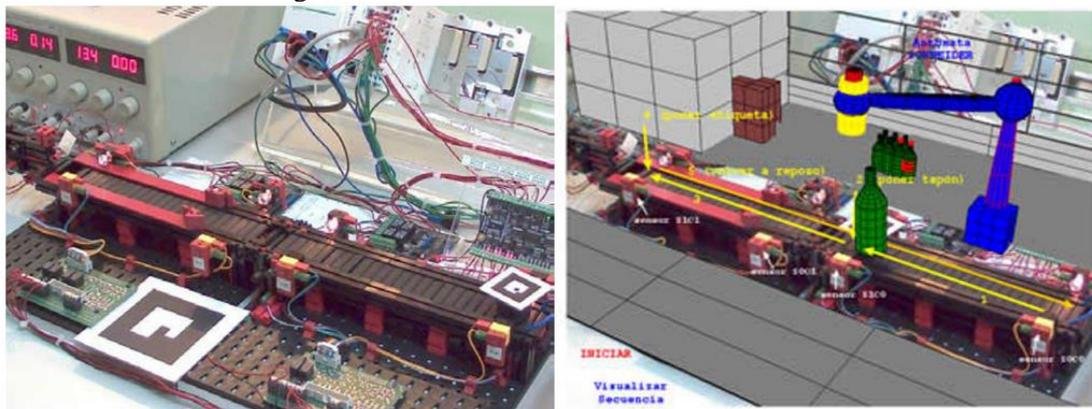


Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=4myvgl4Losc>.

Em relação a arquitetura utilizada, os LRA supracitados baseiam-se em bibliotecas de Realidade Aumentada desenvolvidas em Python e em aplicativos de *desktop*. Para acessar os laboratórios, o aluno precisa se autenticar no servidor no Sistema de Gestão da Aprendizagem (Moodle) e fazer o *download* do *software*, realizando a instalação em seu computador.

Em 2013, o mesmo grupo de pesquisa apresenta uma solução para o desenvolvimento de LRA, descrevendo dois exemplos práticos. No primeiro deles, o aluno pode programar um PLC (Controlador Lógico Programável) para automatizar uma planta de laboratório real, que é aumentada por objetos virtuais 3D que interagem com os reais (Figura 11) (MEJÍAS et al., 2013).

Figura 11 - Laboratório Remoto Aumento - PLC



Fonte: (MEJÍAS et al., 2013).

Por meio da interface do computador, o aluno pode operar o PLC remoto e observar a evolução do esquema real de acordo com a programação que ele enviou ao controlador. Basicamente, “o sistema RA converte a correia transportadora em uma instalação que deve colocar uma ficha e uma etiqueta na garrafa que é movida pela correia” (MEJÍAS et al., 2013, p. 100). Assim, os elementos reais e virtuais interagem uns com os outros, compartilhando o

mesmo espaço tridimensional. Recentemente este experimento foi apresentado na conferência *Experiment@ International Conference* (exp.at'17) (MÁRQUEZ et al., 2017).

O segundo laboratório remoto apresentado por Méjias et al (2013) é um sistema de controle, pelo qual o aluno deve ajustar um controlador PID (Controlador Proporcional Integral Derivativo) para corrigir a posição de um servo motor². O laboratório permite testar várias configurações do controlador, exibindo o comportamento da posição para as diferentes condições de entrada. A RA é adicionada aqui para mostrar ao aluno a posição que o servo motor deve alcançar e o valor desse objetivo. Em ambos os experimentos, os pesquisadores utilizam, entre outras ferramentas, o EJS. Além disso, para inserir a Realidade Aumentada, é utilizado o *software* ARToolKit (MÁRQUEZ et al., 2017; MEJÍAS et al., 2013). Assim como nos LRAs anteriores, esses laboratórios são acessíveis por *softwares desktops*.

Da mesma forma, pesquisadores da Universidade de Deusto criaram um laboratório remoto utilizando técnicas de RA para auxiliar no ensino de automação industrial. Rodriguez-Gil, Zubia, Orduña, Lopez-de-Ipina (2017) desenvolveram um laboratório híbrido que permite controlar um tanque de água virtual com uma placa FPGA – conceito próximo ao LRA da placa FPGA criada pela a equipe da Universidade de Huelva. No entanto, aqui, os pesquisadores privilegiaram uma arquitetura totalmente baseada na *web*, pois, segundo eles, é a tendência atual para o desenvolvimento de recursos digitais – permitindo que os laboratórios possam ser executados em qualquer plataforma que tenha um navegador compatível, sem a necessidade da instalação de novos aplicativos.

Nesse sentido, para os autores, os laboratórios híbridos precisam cumprir com três requisitos básicos: universalidade – o experimento deve ser acessível na maioria dos casos, independentemente da plataforma utilizada; segurança; e poder, que corresponde ao suporte de recursos técnicos relativamente avançados, como gráficos, som e vídeo. Para tanto, Rodriguez-Gil et al. (2017) propõe uma arquitetura baseada na *web*, utilizando recursos como Ajax, como tecnologia de comunicação e como WebGL para fornecer recursos de multimídia avançados – no caso, para o uso de RA.

No estudo, os autores fazem uma revisão das principais tecnologias que podem ser utilizadas no desenvolvimento de laboratórios híbridos, ressaltando suas vantagens e suas desvantagens em consonância com os três requisitos básicos impostos por eles. Nesse sentido,

² Um servo motor é uma máquina eletromecânica composta por uma parte fixa (o estator) e outra móvel (o rotor), que se movimenta proporcionalmente ao comando dado por meio de um sinal de controle. O eixo deste motor move-se em 180° (cento e oitenta graus) e, em alguns modelos, 360° (trezentos e sessenta graus). Fonte: <https://www.kalatec.com.br/lp/servo-motor>.

Rodriguez-Gil et al. (2017) descartam tecnologias como UDP ou TCP pra tecnologias de comunicação, privilegiando tecnologias baseadas em HTTP que, segundo eles, são mais facilmente suportadas pelos navegadores e servidores, e que podem ser implantadas sem qualquer consideração particular de Firewall. Já para tecnologias de fornecimento de multimídia, os autores descartam tecnologias como Adobe Flash, Java Applets ou Microsoft Silverlight, pois, tradicionalmente, esses recursos dependem de *plugins* de navegador externos, o que leva a problemas de segurança significativos. Além disso, essas tecnologias não são suportadas em telefones celulares, o que fere o requisito de universalidade. Entretanto, os autores ressaltam que o desenvolvimento do WebGL é dispendioso e demorado; portanto, sugerem que o projeto seja desenvolvido em Unity3D e exportado para WebGL.

Além disso, o estudo de Rodriguez-Gil et al. (2017) aplicou o laboratório híbrido desenvolvido para uma turma de 58 alunos do primeiro ano dos cursos de Gestão de Empresas e Engenharia Industrial, a fim de conhecer a opinião dos estudos em relação à ferramenta. Com isso, segundo eles, foi possível evidenciar que a ferramenta tem potencial para envolver a atenção aos estudos, podendo gerar resultados educacionais significativos.

Nesse sentido, em outra pesquisa, essa desenvolvida por Odeh, Shanab e Anabtawi (2015), é realizado um estudo comparativo entre os três tipos de laboratório práticos – laboratório híbrido (chamado por eles de AR lab), laboratórios físicos (*hands-on*) e laboratórios virtuais. Para isso, os autores desenvolveram um laboratório híbrido para práticas no ensino de conceitos referentes a circuitos elétricos. Os alunos do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Técnica da Palestina – Khadouri realizaram o mesmo experimento usando as três formas de experimentação e puderam fazer uma avaliação comparativa por meio de um questionário. Os resultados mostraram que o laboratório remoto de RA foi, de modo geral, bem aceito pelos alunos, indicando que os mesmos perceberam esses laboratórios como de fácil utilização e entendimento; com maior flexibilidade em relação ao tempo e ao local de acesso e maior segurança na utilização (ODEH; SHANAB; ANABTAWI, 2015; SHANAB et al., 2012).

Entretanto, Vargas et al. (2013) afirmam que combinar o fluxo de vídeo com imagens geradas por técnicas de Realidade Aumentada em laboratórios remotos é um processo complexo, que pode exigir um conhecimento especializado e avançadas habilidades de programação de computadores, dificultando a possibilidade de um professor ou instrutor desenvolver seus próprios experimentos utilizando esse tipo de tecnologia. A fim de fornecer uma abordagem simples para adicionar realidade aumentada ao laboratório remoto, os pesquisadores da UNED, utilizaram a ferramenta EJS que, combinada com bibliotecas já existentes do Java, facilita essa implementação.

Na mesma linha, outro estudo que busca combinar essas tecnologias é o desenvolvido por Maiti, Kist e Smith (2016), da Universidade do Sul de Queensland, na Austrália. Os autores apresentaram a integração de RA em interfaces de usuário em Laboratórios Remotos *peer-to-peer*, a fim de enriquecer a experiência do usuário. LR *peer-to-peer* são sistemas em que usuários individuais ou fabricantes podem construir seus experimentos remotos e compartilhá-los com outros usuários em uma plataforma única (MAITI; KIST; SMITH, 2016a). No trabalho, é apresentado uma arquitetura que fornece ferramentas genéricas para que diferentes fabricantes possam criar diferentes experimentos remotos incorporando ferramentas de RA, tudo baseado na Plataforma de Programação SNAP. O SNAP é uma plataforma de programação que utiliza linguagem de programação em blocos, que pode ser acessada por meio de um navegador da *web*. Os autores explicam que a plataforma permite o desenvolvimento de RA simplificada para laboratórios remotos de forma intuitiva (MAITI et al., 2016; SMITH et al., 2016).

Para esses autores, a RA pode ser aplicada em laboratórios de acesso remoto de duas formas: (i) “visibilidade induzida” – que é a capacidade de apresentar, por meio de RA, objetos ou entidades reais que não podem ser visíveis pela câmera, e; (ii) “informações sobrepostas” – pelas quais são apresentadas informações extras como, por exemplo, em formato de textos, que estão relacionados a certos objetos reais; dessa forma, os objetos e as informações de texto sobrepostas devem ser atualizadas em tempo real para refletir a alteração no estado do objeto (MAITI; KIST; SMITH, 2016a).

Em um estudo mais recente, do mesmo grupo de pesquisadores, Maiti, Maxwell e Kist (2017) integraram RA em Laboratórios Remotos utilizando Interface de Usuário Natural (*Natural User Interfaces - NUI*) para a interação do usuário com o experimento. Por meio de uma NUI, é possível ler entradas do usuário no sistema sem utilizar dispositivos de entrada comuns, como teclado ou *mouse*. Essa tecnologia ficou amplamente conhecida em jogos digitais, nos quais os jogadores utilizam equipamentos como Microsoft Kinect e Leap Motion.

Nesse cenário, Maiti, Maxwell e Kist (2017) desenvolveram um experimento remoto que permite a manipulação de engrenagens de um robô LEGO com a utilização de RA e NUI. Para ter acesso ao experimento, o usuário faz um *download* no *site* do Laboratório Remoto dos objetos virtuais e, por meio de um dispositivo que utiliza NUI, manipula o experimento. O dispositivo captura os movimentos das mãos dos usuários em tempo real, fazendo com que esses movimentos gerem comandos que são enviados para o laboratório remoto e que são executados pelo *hardware*. Para isso, são utilizadas tecnologias como Unity 3D, fazendo uso de sub-rotinas como *LeapHandController* para a criação da NUI. Para Maiti, Maxwell e Kist (2017), com a utilização de RA e NUI em laboratórios remotos, é possível proporcionar um alto

grau de interatividade, oferecendo experiências remotas mais realistas, se aproximando aos experimentos realizados em laboratórios *hands-on*.

Com a chegada a pandemia da Covid-19, novos estudos no campo dos laboratórios online surgiram com objetivo de levar experiências práticas aos alunos no ensino remoto emergencial. Nesse sentido, Liccardo et al., (2021) desenvolveram um laboratório remoto aumentado para o ensino de medidas elétricas. O LRA desenvolvido permite que os alunos realizem remotamente medições reais interagindo com um modelo virtual 3D de um multímetro. Para o desenvolvimento do laboratório, foi utilizado escaneamento e reconstrução 3D para a criação do modelo virtual; já para a construção do aplicativo de RA foi utilizado o motor de jogo Unity 3D e o framework Vuforia. A comunicação da RA com o laboratório remoto foi implementado no LabVIEW, utilizando mensagens MQTT. Conforme os autores, o laboratório remoto de RA representa uma importante evolução no campo dos laboratórios remotos, oportunizando um ensino inovador, estimulante e atrativo.

2.2.3.2.2 *Lacunas e tendências no desenvolvimento de Laboratórios Remotos Aumentados*

É indiscutível que aparatos experimentais constituem uma das importantes ferramentas para o ensino das disciplinas das áreas STEM em todos os níveis educacionais. Há anos pesquisadores têm explorado diferentes formas de experimentação a fim de aprimorar essas práticas. Atualmente, há uma tendência clara para o uso extensivo de diferentes tipos de laboratórios: *hands-on*, virtuais e remotos. A combinação da RA e dos laboratórios remotos surge desse paradigma, uma vez que pretende unir aspectos relevantes de cada um dos três tipos de laboratórios.

Por sua vez, a RA vem sendo estudada no campo educacional com o objetivo de proporcionar experiências tecnológicas de aprendizagem visualmente mais atraentes em diversas áreas do conhecimento, permitindo que conceitos ensinados em aulas tradicionais possam ser mais facilmente compreendidos com o uso de multimídia interativa. As principais vantagens do uso da RA para o ensino versam no fornecimento de informações contextualizadas, na visualização de fenômenos invisíveis e na interação com objetos 3D integrados com o mundo real, favorecendo a motivação dos estudantes.

Diante disso, percebe-se que a disponibilização de laboratórios híbridos com uso da RA pode acarretar em aplicações sofisticadas, suprimindo limitações dos LR, oferecendo visibilidade virtual a componentes reais que, algumas vezes, são difíceis de ser apresentados em um *streaming* de vídeo comum aos LR. Além disso, permite incluir informações extras, a fim de representar algum elemento abstrato que seria impossível de verificar mesmo em laboratórios

tradicionais. Com isso, um novo leque para a experimentação remota se apresenta, expandindo suas possibilidades e criando novas formas de experimentação.

O uso da RA em laboratórios remotos ainda permite o reaproveitamento de recursos físicos, possibilitando que um LR possa ser modificado – fazendo com que um mesmo experimento seja utilizado para diferentes fins educacionais, sem a necessidade de modificar o ambiente físico (MEJÍAS; ANDÚJAR, 2012; RODRIGUEZ-GIL et al., 2017).

Entre as tecnologias mais utilizadas para o desenvolvimento dos laboratórios remotos de RA, estão o motor de jogo Unity 3D e o *framework* Vuforia. O Unity 3D, nativamente, oferece suporte ao desenvolvimento para diferentes plataformas – o que facilita e flexibiliza o desenvolvimento das aplicações. O Vuforia oferece uma plataforma de visão computacional que permite a construção, de forma simplificada, de experiências interativas e apresenta diversos recursos relacionados à RA (HERPICH; GUARESE; TAROUCO, 2017).

Entretanto, Rodriguez-Gil et al. (2017) destacam a importância de desenvolver uma arquitetura para os laboratórios remotos de RA totalmente baseada na web. Segundo os autores, a web é a tendência atual para o desenvolvimento de recursos digitais, permitindo que os laboratórios possam ser executados em qualquer plataforma que tenha um navegador compatível.

Além disso, em estudos recentes, foi possível identificar o uso do protocolo de comunicação MQTT para troca de mensagens entre RA e laboratório remoto. O MQTT é comumente utilizado em aplicações de IoT. Para esses estudos, o uso de MQTT em LRA permite uma conexão leve e rápida, o que contribui para melhorar a experiência do usuário, aumentando a sensação de “tempo real” ao interagir com os instrumentos reais a partir da RA.

Abaixo, são relacionadas algumas sugestões baseadas nos achados deste RSL:

- Ainda encontramos na literatura um número limitado de estudos que exploram técnicas de RA em laboratórios remotos. Mais estudos, com maior diversidade de métodos de pesquisas, são necessários para avaliar oportunidades desses recursos para o ensino.
- As pesquisas sobre o tema, até o momento, têm colocado seus esforços especialmente no desenvolvimento e na avaliação da aceitação da ferramenta. Com isso, acredita-se que uma análise da eficácia educacional desses recursos é um tópico importante para futuras pesquisas, a fim de investigar se o uso de formas inovadoras de experimentação pode melhorar os resultados educacionais.

- Aspectos pedagógicos também precisam ser discutidos em futuras pesquisas. Quais abordagens pedagógicas são mais adequadas para a inclusão dos laboratórios remotos de RA na educação?
- A aprendizagem móvel é uma tendência no campo educacional, principalmente quando se trata do uso da RA. Entretanto, nos estudos encontrados, os laboratórios desenvolvidos não levam em consideração esse aspecto.
- A maioria dos estudos sobre laboratórios remotos de RA é realizada no ensino superior, envolvendo, principalmente, cursos de engenharia. Nenhum estudo teve seu foco no ensino básico. Este pode ser um importante grupo amostral para estudos futuros. O Brasil ainda apresenta um ensino pautado em aulas excessivamente expositivas, principalmente pela falta de laboratórios de Ciências; esses recursos podem contribuir para a superação de tal carência.
- Sugere-se, também, a expansão das áreas de aplicação desses recursos no ensino superior. Em todos os cursos que envolvam as áreas STEM, aulas práticas de laboratório são de fundamental importância, pois permitem que os alunos experienciem o conhecimento teórico. Com o advento dos cursos em modalidade de ensino a distância (EAD), recursos tecnológicos inovadores se apresentam como uma fonte importante de estudo.

2.3 Teoria da Aprendizagem Experiencial

De acordo com Kolb (2014), o conhecimento resulta da interação entre teoria e experiência, ou seja: é por meio dessa relação dialógica entre conceitos abstratos e experiência que a aprendizagem e o desenvolvimento humano acontecem. Partindo desta premissa, David Kolb e seus colaboradores desenvolveram a Teoria da Aprendizagem Experiencial – ELT.

Para Kolb (2014, p. 49), “a aprendizagem é o processo pelo qual o conhecimento é criado por meio da transformação da experiência” (tradução nossa). Com isso, a ELT integra os trabalhos de diferentes estudiosos do século XX, como John Dewey (1938), Kurt Lewin (1951), Jean Piaget (1970) e Paulo Freire (1973) – os quais atribuem à experiência um papel central em suas teorias de aprendizagem e de desenvolvimento humano.

Os processos de vivenciar, de refletir, de pensar e de agir são os princípios centrais da Teoria da Aprendizagem Experiencial. Conforme Kolb e Fry (1975), a experiência, sozinha, não é suficiente o bastante para o aprender. Para isso é preciso refletir sobre aquela experiência

e ser capaz de fazer generalizações, formulando conceitos que podem ser aplicados em novas situações. Esse conceito aprendido deve, então, ser colocado em prática em novas situações. Neste processo de ação e de reflexão, o estudante faz a ligação entre a teoria e a prática – agindo, refletindo e relacionando-a novamente com a teoria; assim, a aprendizagem torna-se mais efetiva.

A partir dessas premissas, Kolb (2014) propôs seis características fundamentais para que a aprendizagem aconteça: (i) *aprender é melhor concebido como um processo, não em termos de resultados*. Kolb faz uma crítica em relação às teorias comportamentais de aprendizagem, as quais colocam seu foco nos resultados educacionais. Para Kolb (2014), as ideias não são elementos de pensamentos fixos e imutáveis, mas são formadas e reformuladas por meio da experiência. Assim sendo, a aprendizagem não termina em um resultado e nem sempre é evidenciada no desempenho. Essas afirmações de Kolb são pautadas em estudos como o de Piaget, o qual considera que a criação de um novo conhecimento é resultado de uma construção em um processo de interação entre assimilação e acomodação. Para Piaget (1978), o sujeito assimila um novo objeto a um esquema anterior, que pode ser insuficiente – o que ocasionará um desequilíbrio; e à medida que o sujeito procura por soluções desses conflitos é que se gerará a tomada de consciência. O sujeito, então, altera suas estruturas cognitivas para compreender o objeto, passando por um processo de adaptação e, então, chegando à acomodação do conhecimento.

Além disso, Kolb defende que (ii) *a aprendizagem é um processo contínuo baseado na experiência*, pelo qual conceitos são derivados e modificados continuamente pela experiência (KOLB, 2014). Um aprendizado nunca vem sozinho; ou seja, para que possamos aprender algo novo, acionamos conhecimentos já existentes. Portanto, a aprendizagem é facilitada por um processo que atrai as crenças e as ideias dos alunos sobre um tópico, para que possam ser examinados, testados e integrados com ideias novas e mais refinadas.

Essas ideias também são encontradas nos trabalhos de Dewey e Piaget. Dewey (1938, p. 35 apud KOLB, 2014, p.27) apresenta o conceito de “continuidade da experiência” que significa que todas as experiências tomam algo daquelas que foram realizadas anteriormente e, por isso mesmo, modificaram de algum modo a qualidade daquelas que vêm depois. Piaget, de forma similar, descreve o conceito de esquema, o qual define como uma atividade espontânea e organizada que o sujeito utiliza para determinada classe de situações; essa atividade é caracterizada pela repetição do que já conhece e pela variação, quando colocadas em novas situações (PIAGET, 1978). Ou seja: a aprendizagem ocorre através do equilíbrio dos processos dialéticos de assimilação de novas experiências em conceitos existentes e acomodação dos

conceitos existentes à nova experiência (PIAGET, 1978).

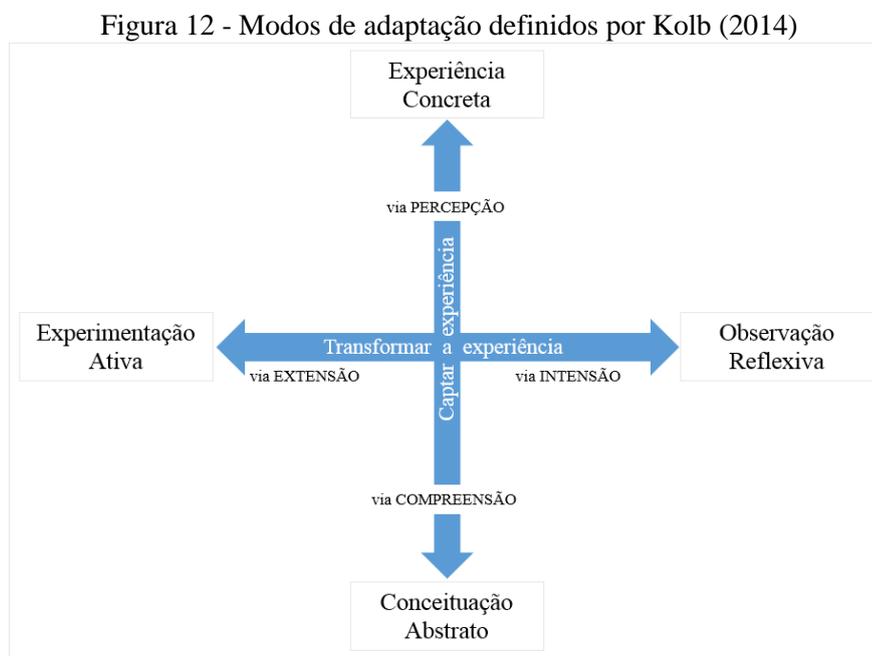
Kolb (2014) ainda destaca que (iii) *o processo de aprender requer a resolução de conflitos entre modos dialeticamente opostos de adaptação ao mundo*. Diante disso, para Kolb, o conflito acontece quando um indivíduo é confrontado com uma situação nova de aprendizagem; portanto, o processo de aprendizagem é, por sua própria natureza, uma ação que enfrenta tensões frequentemente, seja na regulação entre a assimilação e acomodação (Piaget, 1970), ou na reflexão e ação (Freire, 1973), ou na experiência concreta e conceitos abstratos e entre observação e ação (Lewin, 1951). Baseado nesses estudos, Kolb (2014, p. 30) sugere que “os novos conhecimentos, habilidades ou atitudes são alcançados através do confronto entre quatro modos de aprendizagem experiencial” (tradução nossa), os quais é preciso dominar para se chegar a uma aprendizagem eficaz:

- Capacidades de experimentação concreta (EC) – o indivíduo deve ser capaz de se envolver totalmente, abertamente e sem preconceitos em novas experiências.
- Habilidades de observação reflexiva (OR) - o indivíduo deve ser capaz de observar suas experiências de várias perspectivas.
- Habilidades de conceituação abstrata (CA) - o indivíduo deve ser capaz de desenvolver conceitos que integrem suas observações em teorias lógicas.
- Habilidades de experimentação ativa (EA) - o indivíduo deve ser capaz de usar esses conceitos para tomar decisões e resolver problemas.

No entanto, o autor reconhece não ser trivial o alcance das quatro habilidades para uma situação, pois tratam-se de habilidades opostas e, portanto, difíceis de acionar simultaneamente, uma vez que o sujeito precisa agir e refletir, ao passo que deve experimentar concretamente e realizar interpretações conceituais. Assim, para aprender, o sujeito soluciona um conflito por meio de uma escolha, e o resultado dessas decisões determina o conjunto de habilidades que serão utilizadas em uma determinada situação.

Nessa perspectiva, Kolb (2014) afirma que existem duas dimensões principais no processo de aprendizagem: uma que corresponde ao processo de “apreensão da experiência” e outra que corresponde ao processo de “transformação da experiência”. E cada uma dessas dimensões possui duas formas diferentes para captar e transformar a experiência. Para apreender/captar uma experiência, o indivíduo pode escolher entre utilizar interpretação conceitual e representação simbólica; ou utilizar as qualidades tangíveis e sentidas da experiência imediata. Kolb (2014) chama essas duas formas de adaptação de Conceituação Abstrata (CA) e de Experiência Concreta (EC). Da mesma forma, para transformar essa

experiência em conhecimento, o sujeito pode escolher por realizar uma reflexão interna ou pela manipulação externa ativa do mundo – o que representa os dois modos de adaptação de Observação Reflexiva (OR) e de Experimentação Ativa (EA), respectivamente. A Figura 12 apresenta essas dimensões e seus modos de adaptação.



Fonte: Adaptado de Kolb (2014).

Assim, as escolhas que cada indivíduo faz no seu processo de aprendizagem podem resultar em caminhos de aprendizagem diferentes, movendo o indivíduo em graus variados de ator para observador, e de envolvimento prático para distanciamento analítico (KOLB; FRY, 1975). Portanto, é a maneira pela qual os conflitos entre os modos de adaptação dialeticamente opostos são resolvidos que determina o nível de aprendizado resultante. E esse aprendizado será especializado em torno do modo dominante e limitado em áreas controladas pelo modo dominado.

Com isso, Kolb e Fry (1975) explicam que cada indivíduo possui um estilo de aprendizagem que determinará a forma como a experiência será captada e transformada. Esses estilos são: Convergente (Ativos), Divergente (Reflexivos), Assimilador (Teóricos) e Acomodador (Pragmáticos). No entanto, Kolb (2014) destaca que para se chegar em formas superiores de adaptação – como para o desenvolvimento da criatividade e o crescimento pessoal – os conflitos entre os modos adaptativos precisam ser resolvidos por meio da integração dos quatro modos adaptativos em uma síntese criativa.

Por esse motivo, Kolb (2014), em seus estudos, enfatiza a importância do estímulo do desenvolvimento integral dos modos de adaptação. Para isso, conforme o autor, é preciso

planejar atividades de aprendizagem que ensejem o desenvolvimento do pensamento crítico e da aprendizagem significativa, e assim proporcionar um conflito cognitivo e então atingir o maior número de estilos de aprendizagem.

Além disso, conforme Kolb (2014), a (iv) *aprendizagem é um processo holístico de adaptação ao mundo*. Com isso, o pesquisador pretende destacar que a aprendizagem é o principal processo da adaptação humana, e por isso deve ser concebida como um processo holístico, e não como um domínio único especializado de funcionamento humano (cognição ou percepção). Aprender envolve o funcionamento integrado do pensamento total do organismo, que passa pelo pensar, sentir, perceber e se comportar. Nessa perspectiva, a teoria da aprendizagem experiencial também está preocupada com o modo como essas funções são integradas pela pessoa em uma postura holística de adaptação ao mundo (KOLB, 2014).

Mais do que isso, (v) *aprender envolve transações sinérgicas entre a pessoa e o meio ambiente*. A Teoria da Aprendizagem Experiencial considera que o aprendizado é influenciado pelas características do aprendiz e pelo ambiente em que ele vive. Segundo Kolb (2014), a experiência não acontece simplesmente dentro do indivíduo; existe um ambiente que influencia da mesma forma que é influenciado pelo indivíduo. É por essa razão que o autor utiliza o termo “transação” e não “interação” – como utilizado por Dewey (1938) –, pois, para Kolb, transições implicam em um relacionamento mais fluído, interpenetrado, entre as condições subjetivas e objetivas da experiência, de modo que, uma vez relacionadas, ambas são essencialmente modificadas (KOLB, 2014).

Por fim, para Kolb (2014), o (vi) *aprendizado é o processo de criar conhecimento*. Na ELT, o conhecimento é visto como a transação entre duas formas de conhecimento: o conhecimento social e o conhecimento pessoal. O primeiro é construído em um contexto sócio histórico e pode ser considerado o acúmulo da experiência cultural humana anterior. Já o conhecimento pessoal é a experiência subjetiva do aprendiz, que representa o acúmulo das experiências de vida subjetivas de cada pessoa. “O conhecimento resulta da transação entre essas experiências objetivas e subjetivas em um processo chamado aprendizado” (KOLB, 2014, p. 48, tradução nossa). Com base nessas premissas, David Kolb desenvolveu um modelo dinâmico e holístico do processo de aprender com a experiência – o Ciclo de Aprendizagem Experiencial, que é apresentado na sessão 2.3.2.

Desde o seu surgimento, no início dos anos 1970, os princípios e práticas da aprendizagem experiencial foram usados para criar currículos e conduzir práticas educacionais inovadoras (KOLB; KOLB, 2017). O primeiro trabalho publicado sobre o assunto data de 1971 e, desde então, muitos estudos utilizando a ELT têm surgido para avançar sobre a teoria e a

prática da aprendizagem experiencial. As bibliografias atuais do ELT incluem mais de quatro mil entradas de 1971 a 2015, conforme Kolb e Kolb (2017), e é por isso que a teoria de Kolb é considerada extremamente relevante para as práticas atuais. A seguir, serão detalhadas as duas principais contribuições da teoria de aprendizagem experiencial: Estilos de Aprendizagem e Ciclo de Kolb – e de que forma esses conceitos se relacionam nas práticas da aprendizagem experiencial.

2.3.1 Estilos de aprendizagem

O conceito de estilos de aprendizagem surgiu durante a implementação do projeto de desenvolvimento de currículo de aprendizagem experiencial do MIT, desenvolvido por Kolb e seus colaboradores. Os pesquisadores perceberam, durante esse processo, reações diferentes dos alunos ao novo formato do curso. Apesar de haver uma aceitação geral do modelo experimental, alguns relatavam que o professor não estava “dando aulas”; outros, estavam visivelmente ansiosos e incertos, enquanto outros estavam altamente envolvidos.

Com isso, Kolb desenvolveu o Inventário de Estilos de Aprendizagem Kolb (KLSI - *Kolb Learning Style Inventory*) com o objetivo de ajudar os alunos a entender o ciclo de aprendizado experiencial e identificar seu modo de aprendizado preferido; assim, pôde contribuir tanto no desenvolvimento de habilidades de aprendizagem metacognitiva dos alunos quanto no processo de tomada de decisão.

O KLSI provou ser muito popular entre os estudantes. Eles sentiram que o inventário lhes dava uma maior compreensão de si mesmos e também uma visão de suas relações com os outros, cujo estilo era diferente do deles. O fato de esse simples exercício de auto avaliação ter ajudado os aprendizes a obter alguns *insights* sobre si mesmos e sobre os outros como aprendizes, inspirou mais desenvolvimento e pesquisa sistemática com o instrumento para definir suas fundações teóricas e explorar sua confiabilidade e validade (KOLB; KOLB, 2017, p. 33, tradução da autora).

Nesse sentido, Kolb e Fry (1975) apresentam quatro estilos de aprendizagem: Convergente, Divergente, Assimilador e Acomodador. A Tabela 7 apresenta os estilos e suas principais características:

Tabela 7 - Estilos de aprendizagem segundo Kolb e Fry (1975)

Estilos	Características	Descrição das Habilidades
Divergente	Experiência Concreta + Observação Reflexiva	<ul style="list-style-type: none"> – Forte habilidade imaginativa; – Muito bom na generalização das ideias e consegue enxergar as coisas sob diferentes perspectivas; – Interesse nas pessoas; – Amplo interesse cultural.
Assimilador	Conceituação Abstrata + Observação Reflexiva	<ul style="list-style-type: none"> – Forte habilidade para a criação de modelos teóricos; – Sobressai-se no raciocínio analítico; – Preocupa-se mais com conceitos abstratos do que com pessoas.
Convergente	Conceituação Abstrata + Experimentação Ativa	<ul style="list-style-type: none"> – Forte na aplicação prática das ideias; – Pode focar-se na razão dedutiva de problemas; – Não emotivo; – Possui interesses bem definidos.
Acomodador	Experiência Concreta + Experimentação Ativa	<ul style="list-style-type: none"> – Grande força para realizar coisas; – Mais do que um apostador de risco; – Reage imediatamente quando exigido; – Resolve os problemas intuitivamente.

Fonte: Adaptado de Kolb e Fry (1975).

O estilo de aprendizagem divergente é o resultado da tendência para a captar a experiência pela “apreensão” (EC) e transformar pela “intenção” (OR). Os divergentes observam as situações de acordo com diversas perspectivas. Tendem a perceber, apreender ou obter novas informações por meio da representação simbólica – pensando, analisando ou planejando. Possuem fortes habilidades imaginativas, além de demonstrarem um desempenho superior quando as situações exigem generalizações de ideias. Esses indivíduos possuem amplo interesse em aspectos culturais e em compartilhamento de informações. Por outro lado, os assimiladores captam a experiência pela “compreensão” (CA) e transformam pela intenção (OR). Esses indivíduos tendem a observar atentamente os outros que estão envolvidos na experiência e a refletir sobre o que acontece. Possuem forte habilidade para a criação de modelos teóricos e raciocínio analítico. Preferem leituras, explorar modelos analíticos e refletir sobre os conteúdos (KOLB; FRY, 1975).

De modo oposto, os convergentes caracterizam-se pela combinação da CA e da EA – é quando a experiência é apreendida pela “compreensão” e transformada pela “extensão”. Esses indivíduos percebem novas informações por meio de representação simbólica e interpretação conceitual e transformam a experiência por meio da manipulação externa do mundo. Com isso, possuem fortes habilidades para a aplicação prática de ideias. Por último, os acomodadores possuem a EC e a EA como habilidades dominantes – a experiência é apreendida pela

“apreensão” e transformada pela “extensão”. Os acomodadores possuem facilidade para aprender com a experiência e possuem maior tendência para assumir riscos e resolver problemas de forma intuitiva.

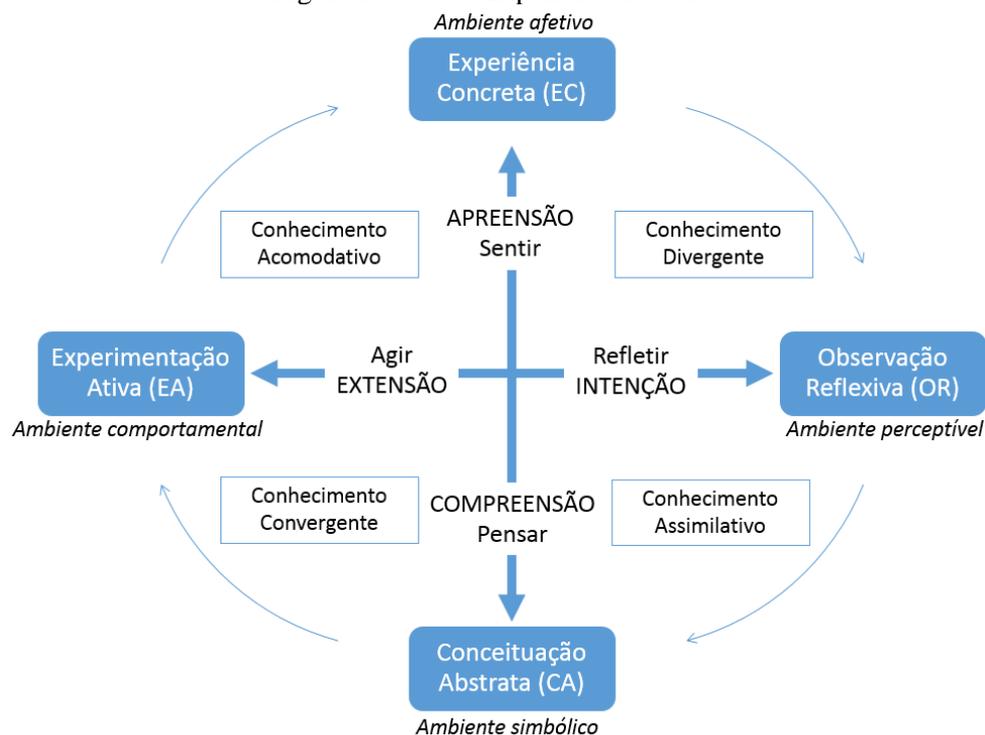
Diante disso, os estilos de aprendizagem são formas diferentes pelas quais os indivíduos usam o ciclo de aprendizado para aprender. Nesse sentido, Kolb e Kolb (2017) alertam para a forma simplificada que, em muitos casos, esse conceito é utilizado na literatura. Para eles, o primeiro problema é desconectar os estilos de aprendizagem da ELT e do ciclo de aprendizado, além da utilização como uma abordagem de entidade à habilidade que promove estereótipos e rotulação, em vez de uma abordagem de processo que enfatiza o potencial de desenvolvimento e a adaptação contextual.

2.3.2 Ciclo de aprendizagem experiencial de Kolb

O ciclo de aprendizagem experiencial de Kolb visa a explorar os quatro modos de adaptação de forma que oportunize ao estudante a passagem por todos os modos, fazendo com que, independente do seu estilo de aprendizagem, os indivíduos possam aproveitar de forma integral o processo de aprendizagem. Além disso, o ciclo de aprendizagem de Kolb visa a estimular o surgimento de um maior número de estilos de aprendizagem, elevando o aprendizado a um nível superior.

Diante disso, o modelo ELT (Figura 13) sugere que a aprendizagem é concebida como um ciclo de quatro estágios, o qual possui dois modos dialeticamente relacionados de captar a experiência – Experiência Concreta (EC) e Conceituação Abstrata (CA) – e dois modos dialeticamente relacionados de transformar a experiência – Observação Reflexiva (OR) e Experimentação Ativa (EA) (KOLB; FRY, 1975). Assim, “apreensão da experiência” refere-se ao processo de coleta de informações; e “transformar a experiência” é a forma com que os indivíduos interpretam e agem com base nessas informações.

Figura 13 - Ciclo Experiencial de Kolb



Fonte: Adaptado de Kolb (2014).

Desse modo, na primeira etapa – EC –, o objetivo é motivar os alunos para o processo de aprendizagem; o ponto de partida são os conhecimentos prévios dos estudantes, provenientes das suas experiências anteriores. Já na OR, segunda etapa do ciclo, o objetivo é proporcionar um momento de reflexão e promover oportunidades aos estudantes de observar o assunto por meio de diferentes perspectivas. Tal mecanismo também pode ser trabalhado como uma etapa para socialização de conhecimentos anteriores entre os estudantes (KOLB; FRY, 1975).

A terceira etapa, a CA, tem ênfase na recordação de conceitos; ou seja, os estudantes são levados a estabelecer ligações entre os seus diversos conhecimentos anteriores e os conhecimentos abstratos, e precisam pensar ou agir conforme regras de lógica e realizar inferências. É nessa etapa que ocorre a sistematização do conhecimento novo, por meio da interpretação conceitual e da representação simbólica.

A última etapa do processo de aprendizagem descrito por Kolb é a EA. A Experiência Ativa caracteriza-se pela formulação e verificação de hipóteses. É a etapa da aplicação do conhecimento construído em novas situações; ou seja, os conceitos aprendidos podem ser testados em novas situações (KOLB; FRY, 1975). Vale ressaltar que, para Kolb e Kolb (2017), não há apenas um modo de percorrer o ciclo; o modelo é dinâmico e o que determinará a forma como o ciclo será percorrido é o estilo de aprendizagem de cada aluno.

Desse modo, a Teoria de Aprendizagem Experiencial, por meio do ciclo de Kolb,

pretende criar situações mais efetivas de aprendizagem, de modo que, ao se mover entre as fases do ciclo, o aprendiz possa sentir (EC), refletir (OR), pensar (CA) e agir (EA), em um processo recursivo (KOLB, 2014; KOLB; BOYATZIS; MAINEMELIS, 2001). Para que o aluno possa sentir, refletir, pensar e agir, é preciso preparar (i) um ambiente afetivo de aprendizagem que enfatize experiências de eventos concretos; (ii) um ambiente perspectivo que enfatize a observação e apreciação; (iii) um ambiente simbólico que enfatize a conceituação abstrata, e; (iv) um ambiente comportamental que enfatize a tomada de decisão em situações reais.

O ciclo de aprendizado é descrito como um processo em círculo recursivo ou espiral, caracterizando-se como oposição dos modelos lineares tradicionais de transmissão de informações, nos quais a informação é transferida do professor para o aprendiz de forma passiva. Para Kolb e Kolb (2017), os resultados de um processo de aprendizagem linear tradicional é o armazenamento de informações de forma temporária. Ou seja: conforme os autores, sem a vivência, não há conhecimento significativo.

Dessa forma, por meio do ciclo de aprendizado, os aprendizes recebem informações através de experiências concretas e as transformam por meio da reflexão e conceituação, transformando-as novamente, agindo para mudar o mundo, incluindo as informações à nova experiência (KOLB; KOLB, 2017).

O modelo de desenvolvimento da ELT visa a abranger direções ontológicas e epistemológicas do desenvolvimento. Ya-hui Su (1965), citado por Kolb e Kolb (2017), sugere que a abordagem epistemológica da aprendizagem ao longo da vida é focada em “ter”; que é baseada apenas na aquisição e armazenamento, em vez de uma abordagem ontológica de “ser”, construir, fundamentar e responder – e, diante dessa crítica, que a ELT propõe o ciclo de aprendizagem.

Por meio das experiências concretas diretas, oportuniza-se ao estudante construir e fundamentar seu conhecimento, enquanto que, por meio da conceituação abstrata, é criado o conhecimento generalizado. Desse modo, o “desenvolvimento através dessas etapas é caracterizado por uma maior integração dos conflitos dialéticos entre os quatro modos primários de aprendizagem (CA-EC e EA-OR) e aumentando a complexidade e o relativismo na adaptação ao mundo” (KOLB; KOLB, 2017, p. 88, tradução nossa).

Desse modo, os estudos de Kolb e seus colegas levaram à formulação de uma tipologia de ambientes em termos das dimensões de crescimento pessoal, sendo que cada um dos modos de aprendizagem está associado a uma forma de complexidade que é usada na experiência consciente para transformar informações em conhecimento (KOLB; KOLB, 2017; KOLB; FRY, 1975). Desse modo, o desenvolvimento das habilidades de experiência concreta aumenta

a complexidade afetiva, que resulta em sentimentos de ordem superior; a observação reflexiva evidência a complexidade perceptiva, que resulta em observações de ordem superior; já a conceituação abstrata aumenta a complexidade simbólica, que resulta em conceitos de ordem superior, e; a experiência ativa aprimora a complexidade comportamental, que resulta em ações de ordem superior. Esses modos e complexidades de aprendizado criam um processo de desenvolvimento multidimensional que é guiado pelo estilo de aprendizado e pelo caminho de vida de um indivíduo (KOLB; KOLB, 2017).

As quatro dimensões do crescimento são representadas por Kolb (2014) na forma de um cone, o qual tem na base os estágios mais baixos do desenvolvimento e, no topo, o desenvolvimento em ordem superior – representando que as quatro dimensões se tornam mais altamente integradas nos estágios mais altos do desenvolvimento.

Nesse sentido, Kolb (2014, p. 205) explica que:

Nos estágios iniciais do desenvolvimento, o progresso ao longo de uma dessas quatro dimensões pode ocorrer com relativa independência das demais. A criança e o adulto jovem, por exemplo, podem desenvolver proficiência simbólica altamente sofisticada e permanecer ingênuo emocionalmente. Nos estágios mais altos do desenvolvimento, no entanto, o compromisso adaptativo à aprendizagem e à criatividade produz uma forte necessidade de integração dos quatro modos adaptativos. O desenvolvimento em um modo precipita o desenvolvimento nos outros. Aumentos na complexidade simbólica, por exemplo, refinam e aprimoram as possibilidades perceptivas e comportamentais. Assim, a complexidade e a integração de conflitos dialéticos entre os modos adaptativos são as marcas da verdadeira criatividade e crescimento.

Para que isso aconteça, é preciso proporcionar ambientes que estimulem o desenvolvimento de todas as dimensões. Por exemplo, Kolb (2014) explica que para ter um ambiente afetivamente complexo (EC) é preciso proporcionar foco em experiências do aqui e agora, legitimar a expressão de sentimentos e emoções, criar situações estruturadas para permitir ambiguidade e possuir um alto grau de personalização. Já os ambientes perceptivelmente complexos (OR) são caracterizados por criar oportunidades de ver o assunto de diferentes perspectivas, proporcionar tempo e espaço para a observação e reflexão, além de oferecer complexidade e multiplicidade de estruturas observacionais. Em ambientes simbolicamente complexos (CA), a ênfase é na recordação de conceitos, formulação de conceitos abstratos e realização de inferências. Por fim, os ambientes comportamentalmente complexos (EA) são caracterizados por responsabilidade de estabelecer metas próprias de aprendizado e oportunidades para assumir riscos reais.

A ELT tem sido explorada nas últimas décadas e esse reconhecimento acadêmico do modelo está associado à sua possibilidade de replicação – além de representar uma teoria com

abordagem atual. Apesar de seus primeiros estudos serem datados da década de 70, Kolb e colaboradores continuam a estudar o modelo e atualizá-lo; dessa forma, representando um maior suporte às pesquisas para compreensão da aprendizagem por meio da experiência.

O ciclo de aprendizagem tem sido usado para desenvolver e fornecer programas em educação básica, educação profissional e programas de treinamento, bem como um quadro para a avaliação da aprendizagem prévia e como um guia para o processo de aprendizagem. Na literatura, é possível encontrar uma série de reproduções e variações do ciclo que foram usadas como guia para o *design* de aprendizagem experiencial, bem como para descrever as preferências de aprendizado de alunos (KOLB; KOLB, 2017).

Entretanto, Kolb e Kolb (2017), em seu livro mais recente – *The Experiential Educator: Principles and Practices Of Experiential Learning* –, alertam para a maneira equivocada que pesquisadores têm utilizado o ciclo de aprendizagem, bem como os estilos de aprendizagem. Para os autores, ambos os conceitos têm sido retirados do contexto da estrutura mais ampla do ELT. Pesquisas têm isolado os componentes da teoria em dois tópicos distintos: (i) pesquisa de estilo de aprendizagem seguindo convenções psicométricas e (ii) estudos de ciclo de aprendizagem mais focados nos aspectos de processo de desenho educacional.

Diante disso, o ciclo de aprendizagem foi interpretado como simples passo a passo de um processo rígido de quatro etapas para a aprendizagem experiencial e o estilo de aprendizagem tem sido descaracterizado como um traço, e não como um estado dinâmico no processo do ciclo de aprendizagem – não reconhecendo a dialética dupla que é a base da tipologia do estilo de aprendizagem (KOLB; KOLB, 2017).

Essa dialética deve ser entendida de maneira que os estilos de aprendizagem são formas diferentes pelas quais os indivíduos usam o ciclo de aprendizado para aprender. Isso significa que não há apenas um meio de percorrer os modos de aprendizagem de vivenciar, refletir, pensar e agir do ciclo de aprendizagem, mas diversas maneiras que variam para diferentes indivíduos e suas tarefas de aprendizagem (KOLB; KOLB, 2017).

2.3.3 A Teoria de Aprendizagem Experiencial na prática laboratorial

Estudos têm defendido o uso da ELT para a condução de aulas com práticas laboratoriais, pois argumentam que em laboratórios com bom aproveitamento é necessário conduzir o estudante, além da ação prática, a momentos de reflexão, permitindo que ocorra a transformação da experiência em conhecimento (ABDULWAHED; NAGY, 2011; KONAK; CLARK; NASEREDDIN, 2014; ONYANGO; GITONGA; RUGAR, 2017; ZAINAL et al.,

2018).

Nesse sentido, os pesquisadores Konak, Clark e Nasereddin (2014) apresentam um estudo que utiliza o ciclo de aprendizagem experiencial como uma estrutura para projetar atividades práticas em laboratórios de computadores virtuais (*Virtual Computer Laboratories - VCL*) para o ensino de segurança da informação. Segundo os autores, a abordagem tradicional de “livro de receitas” – pela qual apenas instruções passo a passo são fornecidas aos alunos, seguidas por questões que não aprofundam a discussão – limita o aprendizado e a capacidade de os estudantes refletirem sobre suas práticas, além de não desafiar os estudantes a aprender. Partindo dessa premissa, Konak, Clark e Nasereddin (2014) descrevem um exemplo de como o ciclo de Kolb pode ser utilizado em práticas para o ensino de segurança da informação, como segue:

- Experiência Concreta – os pesquisadores utilizaram a forma tradicional de práticas em VCL, pela qual os alunos devem seguir instruções passo a passo para aprender sobre criptografia assimétrica.
- Observação Reflexiva – os alunos deveriam analisar os componentes de seu certificado digital e discutir questões, como o porquê de eles precisarem exportar suas chaves privadas, sempre fomentando atividades de interação aluno-aluno, a fim de alcançar um nível mais elevado de reflexão. Para os autores, nessa etapa, o trabalho em grupo é uma estratégia eficaz para promover uma reflexão significativa em atividades curtas em sala de aula.
- Conceituação Abstrata – os alunos precisavam criar um diagrama de criptografia assimétrica com base nas etapas que executavam. Além disso, uma discussão em classe foi conduzida pelo instrutor para solidificar um quadro mental sobre criptografia assimétrica. Nessa etapa, os autores ressaltam a importância de utilizar questões de generalização, como, por exemplo, solicitar que os alunos comparem o que aprenderam anteriormente com o novo conhecimento.
- Experimentação Ativa – os alunos deviam realizar uma nova experiência prática semelhante ao que foi realizado no estágio de Experiência Concreta, porém sem o fornecimento prévio de instruções detalhadas.

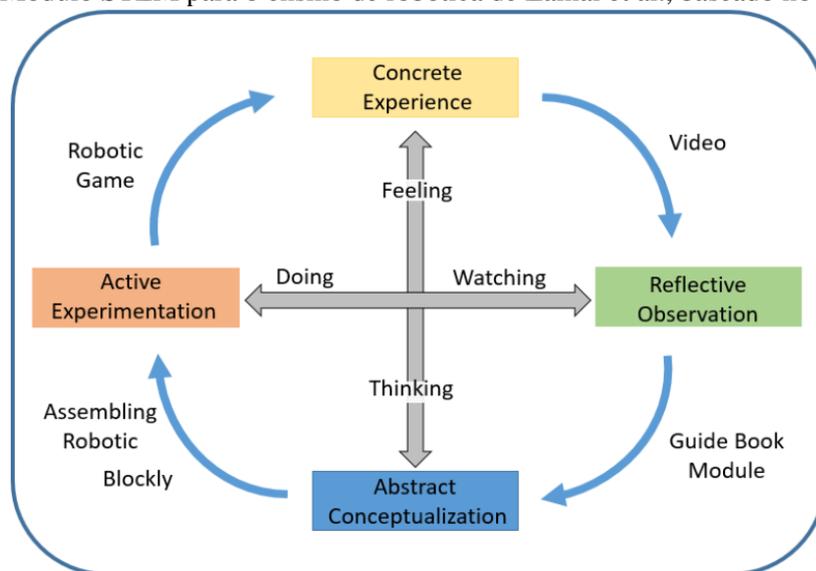
Para verificar se uma atividade prática, incluindo todos os estágios do ELT de Kolb, contribui no alcance de um nível mais alto de aprendizado, os autores utilizaram um questionário, uma semana depois de concluir a atividade, a fim de avaliar a lembrança dos

alunos sobre conceitos aprendidos, bem como para avaliar como os alunos poderiam aplicar esses conceitos a problemas mais gerais. A pontuação média do questionário foi cerca de 9,6% mais alta no grupo de tratamento em relação ao grupo controle ($p = 0,058$) (KONAK; CLARK; NASEREDDIN, 2014). Além disso, foi aplicado um questionário de avaliação da atividade em relação ao desafio percebido, engajamento e interação com outros alunos, além de suas percepções sobre o quanto sua competência e interesse na área foram melhorados após as atividades.

Entre os resultados, Konak, Clark e Nasereddin (2014) relatam que o grupo de tratamento obteve níveis mais elevados de interesse e competência em relação ao grupo de controle. E ainda descobriram que o aumento da interação aluno-aluno leva a um maior desenvolvimento de competências. Desse modo, quanto mais os alunos estão envolvidos no trabalho em grupo, mais competentes eles se sentiam em relação ao aprendizado. Além disso, o estudo demonstrou que a competência é um fator importante para aumentar o interesse; assim, quanto maior o domínio sobre um tema, maior o interesse sobre ele. Vale ressaltar que, no estudo, Konak, Clark e Nasereddin não mencionam os estilos de aprendizagem e nem como esses podem afetar o nível de aprendizagem dos estudantes.

De modo semelhante, em um estudo mais recente, Zainal et al. (2018) desenvolveram um módulo STEM para o ensino de robótico baseado nas etapas do ciclo de Kolb, a fim de avaliar as percepções dos alunos sobre suas competências e interesses nas áreas STEM. As etapas foram implementadas com cinco atividades educacionais-chave, que são: (1) assistir a vídeos, (2) ler módulos, (3) montar componentes robóticos, (4) programar o robô por meio de programação em blocos e (5) jogar um jogo robótico (Figura 14).

Figura 14 - Módulo STEM para o ensino de robótica de Zainal et al., baseado no ciclo de Kolb



Fonte: Zainal et al. (2018).

Zainal et al. (2018) utilizaram na primeira etapa (EC) um vídeo com objetivo de ajudar os estudantes a entender a ideia principal da atividade e os conceitos matemáticos. Após obterem uma nova experiência com o vídeo, os alunos tinham acesso ao livro guia (RO) para aprofundar e testar sua compreensão sobre o tema. O guia era composto por exercícios sobre ângulos, e de conteúdos que mostravam como esse conceito é usado para determinar a direção através de um guia de viagem. Mais adiante, na etapa de CA, os alunos precisavam pensar em como transformar o novo conhecimento em lógica, montando o robô e programando-o por meio de programação em blocos. Por fim, na etapa de EA, por meio de um jogo, os alunos realizavam experiências em que precisavam alterar os ângulos e graus na sequência de código.

A avaliação do estudo se deu por meio do instrumento de coleta de dados utilizado por Konak, Clark e Nasereddin (2014). Entre os resultados, Zainal et al. (2018) afirmam que a percepção dos estudantes nos fatores interação, engajamento, competência e interesse obtiveram *scores* altos, entre 4 a 5 pontos na escala Likert, ficando apenas o desafio com um *score* moderado, com 3.04 pontos. Diferentemente do estudo de Konak, Clark e Nasereddin, Zainal e seus colaboradores não comparam os resultados com um grupo controle, nem avaliam qual fator foi mais significativo para aumentar o interesse e a competência dos estudantes.

Já Onyango, Gitonga e Rugar (2017) utilizaram a ELT como uma das ferramentas pedagógicas para apoiar a integração de tecnologias em sala de aula. A teoria de Kolb foi usada para planejar as atividades em classe. O plano de aula foi desenvolvido por alunos de doutorado da Instituição de Ensino Superior do Quênia que, depois de um período de discussões, chegaram a um modelo para integrar as TIC na sala de aula seguindo o modelo do ciclo de Kolb.

Em uma outra pesquisa, essa mais próxima do estudo desenvolvido nesta proposta de

tese, os pesquisadores Abdulwahed e Nagy (2009;2011) utilizaram a ELT para desenvolver um modelo de educação laboratorial que combinasse sessões práticas com laboratórios remotos, virtuais e laboratórios reais. A abordagem foi utilizada no curso de Laboratório de Controle de Processos do curso de Engenharia Química da Universidade de Lowborough, no Reino Unido. Conforme os autores, os resultados do estudo mostraram, claramente, o impacto positivo da aplicação dos diferentes tipos de laboratórios para o ensino, gerando resultados educacionais importantes e motivação na aprendizagem dos alunos.

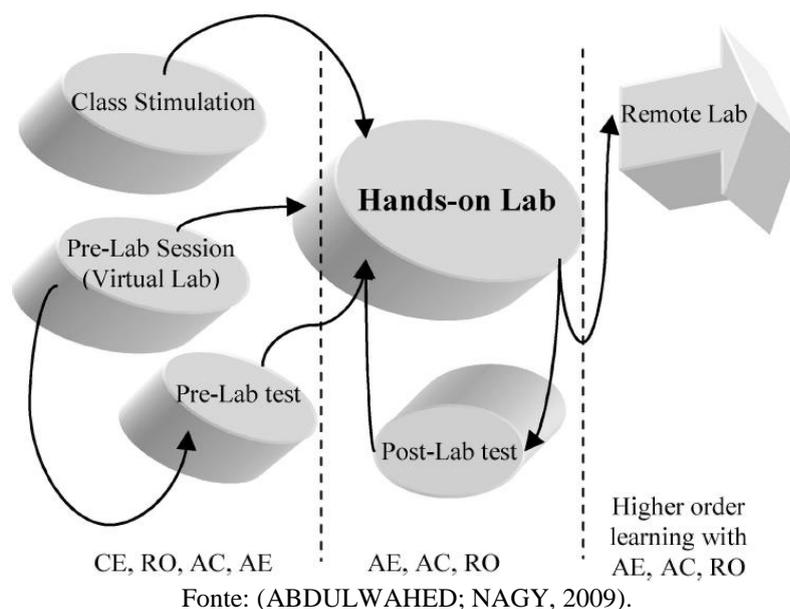
Abdulwahed e Nagy (2009;2011) explicam que o baixo rendimento dos estudantes em práticas laboratoriais se deve, principalmente, à dimensão de “preensão” – ou seja, a dimensão de captura da experiência. Para suprir essa limitação, o método usa uma combinação de sessões de diferentes tecnologias, além de testes prévios e posteriores de laboratório para maximizar a retenção de informações, ativando os estágios do ciclo de aprendizado de Kolb (ABDULWAHED; NAGY, 2009).

Nesse sentido, os pesquisadores utilizaram o laboratório remoto durante uma palestra introdutória, usando uma apresentação em PowerPoint, com o objetivo de proporcionar uma sensação realista aos alunos e estimulá-los a manipular o laboratório real. Conforme Abdulwahed e Nagy (2009), esta estrutura de palestras é apresentada como uma atividade preparatória para o estágio de Experiência Concreta. O laboratório remoto ainda foi utilizado para explorar os fundamentos teóricos do tema – o que, segundo eles, contribuiu para a Conceituação Abstrata.

Além disso, Abdulwahed e Nagy (2009) utilizaram sessões preparatórias que chamaram de teste pré-laboratório. Esse teste foi aplicado com auxílio de um laboratório virtual, com objetivo de estimular a Experiência Concreta e, ao utilizar questões reflexivas, aprimorar o estágio de Observação Refletiva. Ao fim, os alunos eram conduzidos a realizar um teste pós-laboratório, de modo que pudessem ter um momento para refletir sobre sua experiência na sessão de laboratório real. Os autores destacam que as perguntas deste teste necessariamente precisariam ser projetadas para ajudar na implementação de um modelo mental significativo, com base na experiência no laboratório real – o que contribuiria para melhorar o estágio de Observação Reflexiva e Conceituação Abstrata.

Para os autores, as possibilidades de exploração desses recursos entre as etapas do ciclo são diversas. Conforme a forma com que esses recursos são utilizados, diferentes etapas do ciclo podem ser acionadas, como é apresentado na Figura 15 (ABDULWAHED; NAGY, 2009).

Figura 15 - Modelo de práticas laboratoriais Abdulwahed-Nagy, baseado na teoria de Kolb



No modelo de práticas laboratoriais proposto por Abdulwahed-Nagy, baseado na teoria de Kolb, os laboratórios virtuais e remotos podem ser aproveitados em sessões de pré-laboratório, em testes de pré-laboratório e em explorações em aulas expositivas, podendo ativar as quatro etapas do ciclo. A sessão de laboratório real e os testes de pós-laboratório podem ser trabalhados em etapas de Experiência Ativa, Conceituação Abstrata e Observação Reflexiva. E, por fim, sessões com laboratórios remotos podem ser aproveitados para a Experiência Ativa, Experimentação Concreta e Observação Reflexiva (ABDULWAHED; NAGY, 2009).

Ao longo desta seção, buscou-se relacionar as aplicações da teoria de aprendizagem experiencial na prática laboratorial, com o intuito de compreender de que maneira a teoria de Kolb pode apoiar o uso pedagógico dos laboratórios *online*, além de buscar na literatura os aspectos inovadores desta proposta de tese. Desse modo, percebe-se que a utilização da teoria de aprendizagem experiencial na criação de estratégias pedagógicas que articulem exclusivamente laboratórios *online* pode ser considerada inovadora no meio acadêmico. Principalmente, ao articular realidade aumentada a esses laboratórios que, como apresentado na seção 2.2.3, são pouco explorados na literatura. Assim, a partir das constatações, foi possível elaborar a presente pesquisa de tese, a qual será apresentada nas próximas seções.

3. MÉTODO DE PESQUISA

A classificação da pesquisa, para Gil (2010), é a representação sintética dos principais delineamentos da pesquisa. Ele destaca que as pesquisas podem ser classificadas de diferentes maneiras, mas sempre coerentes com os critérios adotados. Nesse sentido, a tese aqui apresentada tem caráter explicativo, uma vez que se preocupa em identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência de um fenômeno (GIL, 2007). Tem ainda uma abordagem mista – utilizando técnicas quantitativas e qualitativas a fim de descrever as causas de um fenômeno.

Com relação aos procedimentos técnicos, resolveu-se realizar um estudo de caso. Segundo Yin (2005), o estudo de caso é uma estratégia de pesquisa empírica, cujo objetivo é investigar um fenômeno contemporâneo específico dentro de seu contexto da vida real, principalmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos e envolvem muitas variáveis observáveis. Ainda conforme Yin (2005), existem três tipos de estratégias de estudos de caso que podem ser escolhidas conforme o objeto do estudo: a descritiva, a exploratória e a explanatória. Cada uma dessas estratégias preocupa-se em resolver um problema diferente, a partir da questão de pesquisa (CASTRO FILHO; FREIRE; MAIA, 2018).

Dessa forma, o estudo descritivo preocupa-se em descrever um fenômeno, produzindo informações detalhadas para ajudar na sua compreensão. Castro Filho et al. (2018, p. 6) definem que nos estudos descritivos “o pesquisador proporia questões clássicas de estudo de caso que são as do tipo como ou por que”.

Já os estudos exploratórios preocupam-se em conhecer, com maior profundidade, questões pouco conhecidas do fenômeno, cujas as informações ainda são escassas. Para Castro Filho et al. (2018), em pesquisas que envolvem Informática na Educação, os estudos de caso exploratórios podem ser utilizados na validação de um *software* educativo desenvolvido. “Nesse caso, as questões de pesquisa seriam, além das clássicas, do tipo que ou quanto. Por exemplo: Que aspectos pedagógicos foram evidenciados pelos professores? ou Quantos alunos tiveram êxito na realização da atividade?” (CASTRO FILHO et al., 2018, p. 7).

Por fim, os estudos explanatórios têm como objetivo explicar os vínculos causais em intervenções da vida real que são complexas demais para uma estratégia experimental (YIN, 2005). Conforme Castro Filho et al. (2018), um estudo de caso explanatório busca “uma relação de causa e efeito relacionados a um fenômeno específico” e “assemelha-se aos estudos experimentais realizados em laboratórios que buscam a relação entre uma variável dependente

e uma independente” (p. 7), a fim de validar hipóteses. Entretanto, diferentemente dos estudos experimentais em laboratórios, o pesquisador não tem total controle sobre as variáveis a serem observadas.

Yin (2005) afirma que os estudos de caso têm um lugar de destaque na pesquisa de avaliação, sendo a estratégia mais importante para explicar os vínculos causais em intervenções da vida real que são complexas demais para as estratégias experimentais ou aquelas utilizadas em levantamentos.

Nesse sentido, essa pesquisa visa a investigar o uso de recursos tecnológicos orientado pela Teoria de Aprendizagem Experiencial de Kolb, para o ensino de circuitos elétricos, visando a observar os efeitos causais dessa intervenção no desempenho conceitual e na motivação dos estudantes em aprender. Diante disso, considerando o contexto real de sala de aula e a complexidade das variáveis estudadas, decidiu-se pelo procedimento técnico de Estudo de Caso Explanatório de casos múltiplos (cada turma constitui-se em um caso).

A Tabela 8 corresponde aos métodos utilizados para atender ao objetivo geral do estudo, que foi formulado da seguinte forma: *investigar se o uso de Laboratórios Remoto, Virtual e Remoto Aumentado, a partir dos preceitos da Teoria de Aprendizagem Experiencial, pode interferir positivamente nos processos de ensino e aprendizagem de circuitos elétricos no contexto do ERE, em termos de desempenho conceitual e motivação.*

Tabela 8 - Classificação da pesquisa

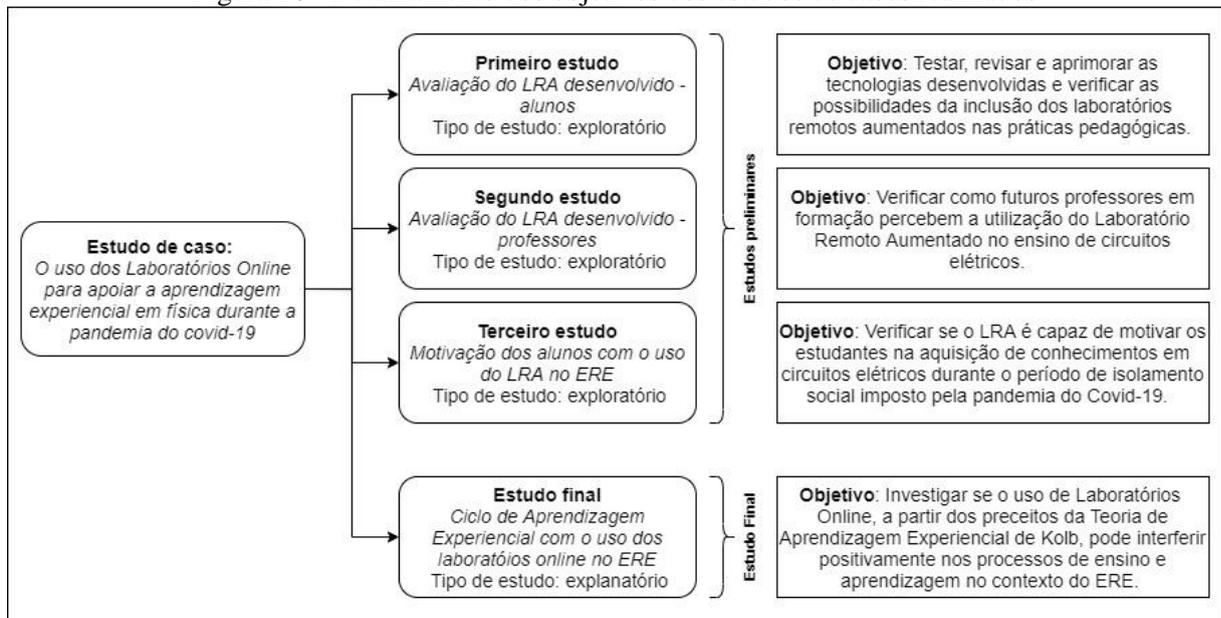
Classificação	Métodos utilizados
Natureza a pesquisa	Pesquisa aplicada
Abordagem do problema	Quantitativa e Qualitativa
Tipo de pesquisa	Pesquisa explicativa
Procedimentos técnicos	Estudo de caso explanatório de casos múltiplos
Instrumentos de coleta de dados	<ul style="list-style-type: none"> - Inventário de Estilos de Aprendizagem Kolb (KLSI); - Avaliações conceitual desenvolvidas a partir do teste desenvolvido por Silveira (2011); - <i>Instructional Materials Motivation Survey</i> (IMMS); - Questão aberta - experiência do aluno.
Unidades de análise:	<ul style="list-style-type: none"> - Turma de alunos do 3º ano do ensino médio do Centro de Educação Básica Francisco de Assis (EFA), Ijuí, RS. - Turma de alunos do 1º do ensino médio do curso Técnico Concomitante em Eletromecânica do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) – Campus Araranguá. SC.

Fonte: Elaborada pela Autora.

Devido à pesquisa contemplar o desenvolvimento de um laboratório remoto aumentado, além da realização do estudo final detalhado na Tabela 8, fez-se necessário o desenvolvimento

de estudos preliminares a fim de validar a ferramenta desenvolvida. Como mencionado anteriormente, estudos exploratórios são adequados para realizar a validação de *software* educativo (CASTRO FILHO; FREIRE; MAIA, 2018). Com isso, foram desenvolvidos três estudos de caso preliminares do tipo exploratório, com os seguintes objetivos (Figura 16):

Figura 16 - Detalhamento dos objetivos dos estudos de casos realizados



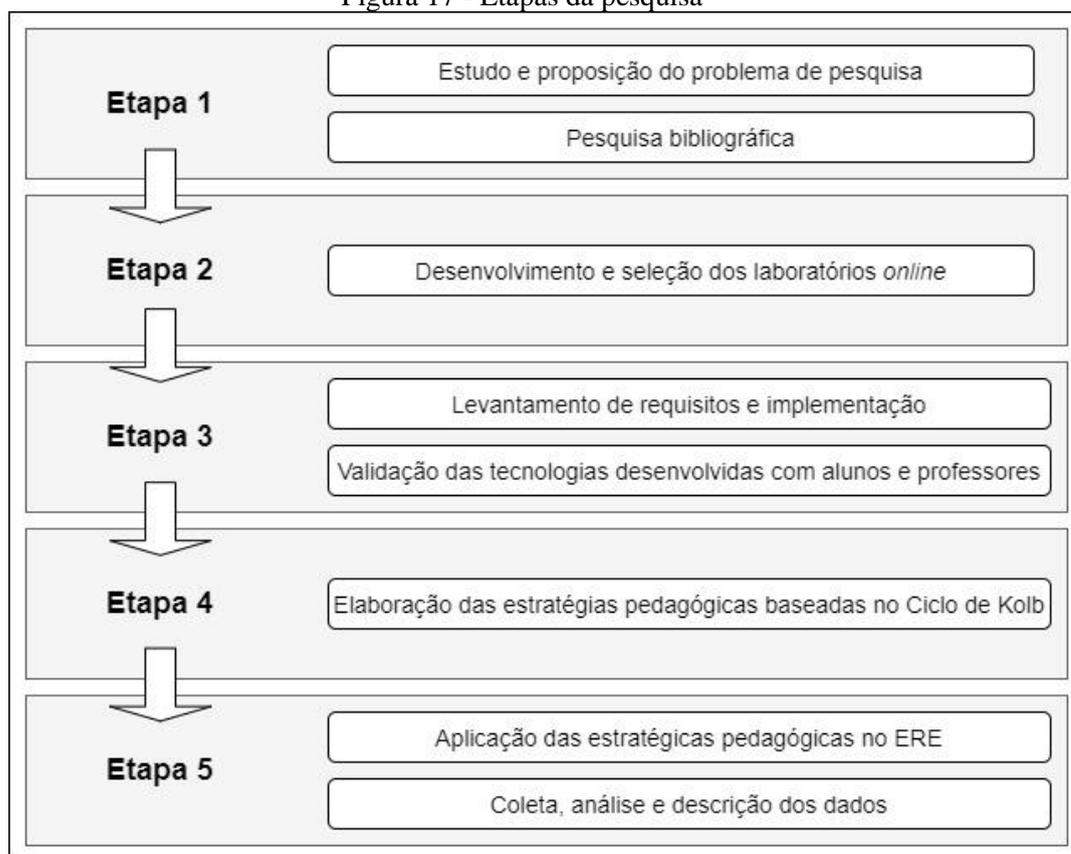
Fonte: Elaborada pela Autora.

Os detalhes metodológicos desses estudos, bem como as etapas da pesquisa, são descritos a seguir, na seção 3.1.

3.1 Etapas da pesquisa

Para a realização desta pesquisa, algumas etapas foram definidas a fim de alcançar o objetivo proposto, como apresentado na Figura 17.

Figura 17 - Etapas da pesquisa



Fonte: Elaborada pela Autora.

A primeira fase compreendeu a formulação do problema de pesquisa, embasada em estudos que focavam na importância da experimentação nos processos de ensino e aprendizagem, bem como seus desafios. Também nessa fase, por meio da pesquisa bibliográfica, foi possível identificar os elementos que pudessem oferecer fundamentação para as escolhas tecnológicas, dentre as quais se evidenciaram os laboratórios remotos e virtuais. Também identificou-se a Realidade Aumentada como uma possível solução para o aprimoramento das práticas pedagógicas, dentro e fora da sala de aula.

Nesta fase, foi realizado um estudo das teorias de aprendizagem que poderiam dar suporte ao desenvolvimento e aplicação das tecnologias em sala de aula. Com isso, iniciou-se a busca do embasamento teórico pertinente – com o levantamento, leitura, estudo e análise crítica dos trabalhos acadêmicos relacionados com o problema de pesquisa, etapas que resultaram na escolha da Teoria da Aprendizagem Experiencial de Kolb para nortear as ações desta proposta de tese.

Dessa forma, a Etapa 2 contempla o desenvolvimento e a seleção de diferentes tipos de laboratórios *online* (remoto, virtual e remoto aumentado), a fim de inseri-los em ciclos de

aprendizagem experiencial. Com isso, iniciou-se uma busca dos laboratórios remotos e virtuais que poderiam ser utilizados para o ensino de circuitos elétricos, e/ou serem aproveitados para o desenvolvimento de um laboratório remoto aumentado.

Nesse sentido, a construção de um Laboratório Remoto Aumentado pode ser realizada a partir de um laboratório remoto já existente ou ser construída totalmente do zero. Diante disso, foi construído um LRA, que foi desenvolvido a partir de um laboratório já existente disponibilizado pelo Laboratório de Experimentação Remota (Rexlab), vinculado à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Campus Araranguá, com o qual a autora desta tese desenvolve atividades de pesquisa.

Com isso, a Etapa 3 contemplou a validação da ferramenta desenvolvida. A validação ocorreu em três momentos, por meio de estudos exploratórios. O primeiro estudo (vide Figura 16) foi realizado junto a alunos do ensino superior e médio a fim de testar, revisar e aprimorar as tecnologias desenvolvidas e verificar as possibilidades da inclusão dos diferentes tipos de laboratórios nas práticas pedagógicas. Foram investigadas as percepções dos estudantes sobre utilizar o laboratório desenvolvido por meio do questionário MAREEA (Modelo de Avaliação de Abordagens Educacionais em Realidade Aumentada Móvel), desenvolvido por Herpich et al. (2019). O questionário possui 37 questões e tem como objetivo conhecer a percepção dos estudantes em relação ao engajamento, motivação, usabilidade e aprendizagem durante sua experiência de aprendizagem com o laboratório remoto aumentado.

O segundo estudo (vide Figura 16) foi conduzido com objetivo de verificar a usabilidade pedagógica das ferramentas junto a futuros professores da área. Para tanto, foi utilizado o questionário PECTUS (Pedagogia, Ensino de Ciências, Tecnologia e Usabilidade), que tem como objetivo avaliar a qualidade de *software* educacional para Ensino de Ciências, composto por quatro dimensões de avaliação: Pedagogia, Ensino de Ciências, Tecnologia e Usabilidade (REZENDE, 2013). O LRA foi utilizado por 13 professores em formação do curso de Licenciatura em Ciências da Natureza do Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS), campus Porto Alegre.

Devido ao contexto da pandemia da Covid-19, fez-se necessário a realização de um terceiro estudo, a fim de validar a ferramenta desenvolvida no contexto do ensino remoto emergencial. O LRA foi utilizado por 54 estudantes do 3º ano do ensino médio (faixa etária de 14 a 17 anos), como apoio para ensino de conceitos básicos de eletricidade na disciplina de Eletricidade Básica, no curso técnico em Eletromecânica do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), campus Araranguá. A disciplina foi ministrada durante o período da pandemia da Covid-19, entre os meses de março a junho de 2020.

A próxima etapa (Etapa 4) se consistiu no planejamento e na definição dos ciclos de aprendizagem experiencial, com o uso dos diferentes tipos de laboratórios: Laboratório Remoto, Laboratório Virtual e LRA – a fim de utilizar todos os parâmetros em sala de aula e investigar o potencial do uso dessas tecnologias em um ciclo de Kolb. Foram elaborados três ciclos de aprendizagem experiencial para o ensino de Circuitos Elétricos. Os ciclos foram desenvolvidos para contemplar todo o conteúdo trabalhado – tanto no 3º ano do ensino médio, quanto no 1º ano do curso técnico de nível médio em Eletromecânica. Dessa forma, o primeiro ciclo abordou a introdução aos circuitos elétricos; o segundo, o estudo dos resistores e, por fim; o terceiro ciclo, contemplou o conteúdo de associação de resistores. Os ciclos foram desenvolvidos com a colaboração de dois professores: uma professora do ensino médio do Centro de Educação Básica Francisco de Assis (EFA) e um professor de Eletromecânica do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), campus Araranguá. Os professores receberam uma formação sobre a Teoria de Aprendizagem Experiencial de David Kolb para participarem da pesquisa. A descrição completa dos ciclos será apresentada na seção 4.4.1.

Por fim, na Etapa 5, os três ciclos de aprendizagem experiencial foram aplicados em dois momentos, na modalidade de ensino remoto emergencial, em turmas do ensino médio:

- i) durante o segundo semestre de 2020, com 23 estudantes do 3º ano do EFA – instituição privada, localizada na cidade de Ijuí, no Rio Grande do Sul; turma com alunos com idade entre 17 e 18;
- ii) durante o primeiro semestre de 2021, com 59 estudantes do curso técnico de ensino médio do IFSC, campus Araranguá; alunos com idade entre 15 e 18.

A seguir, é apresentado o detalhamento do método de pesquisa empregado no estudo final dessa pesquisa de tese.

3.2 Detalhamento dos materiais e métodos do estudo final

A Tabela 9 apresenta as variáveis a serem medidas, os instrumentos, a forma de análise e as unidades para cada proposição ao longo do estudo – e os instrumentos de medidas utilizados para medir tais variáveis.

Tabela 9 - Variáveis, instrumentos de medida, tipos de análise e unidades pesquisadas

Pro.	Variáveis	Instrumento de medida	Análise	Unidades de Análise
1	Desempenho conceitual	- Pré e pós-teste conceitual	Quantitativo: <ul style="list-style-type: none"> • Análise descritiva • Teste estatísticos • Ganho de Hake 	<ul style="list-style-type: none"> • 23 alunos do 3º do ensino médio do EFA
2	Motivação (ARCS) <ul style="list-style-type: none"> - Atenção; - Relevância; - Confiança; - Satisfação 	- IMMS	Quantitativo: <ul style="list-style-type: none"> • Análise descritiva • Teste estatísticos Qualitativa: <ul style="list-style-type: none"> • Análise de conteúdo 	<ul style="list-style-type: none"> • 59 alunos do 1º do curso técnico de nível médio em Eletromecânica do IFSC

Fonte: Elaborada pela Autora.

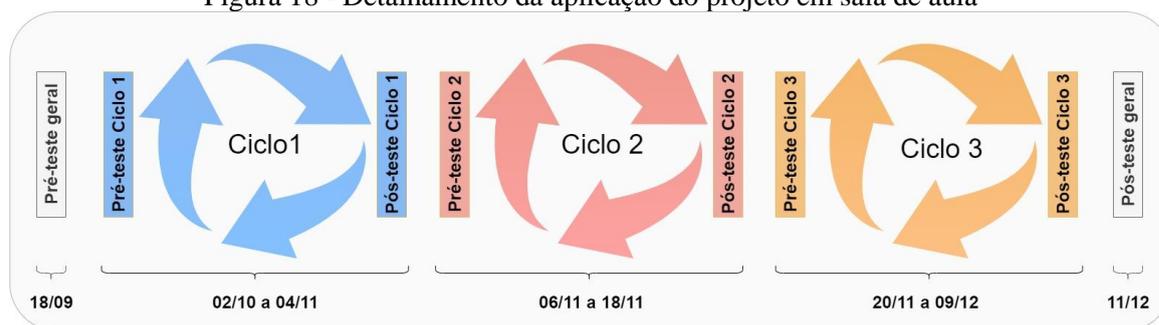
A participação dos estudantes no estudo foi voluntária, sendo os estudantes informados dos termos da pesquisa mediante um termo de consentimento (Apêndice B). A seguir, são detalhados os instrumentos de coleta e análise de dados.

3.2.1 Instrumento de Coleta e Análise de Dados

Conforme Yin (2005), em estudos de caso explanatório, como em estudos experimentais, é possível utilizar desenhos de pré e pós-teste, tais como os conhecidos desenhos de Campbell e Stanley (1979), a fim de compreender a relação causal das variáveis. Castro Filho et al. (2018), que relacionam o estudo de caso explanatório a pesquisas em Informática na Educação, complementam que pode-se aplicar um pré-teste, utilizar o *software* educativo em um contexto real de sala de aula e aplicar um pós-teste – e, a partir deste ponto, os resultados do estudo podem confirmar, ou não, a proposição e/ou a hipótese levantada. Além disso, o Estudo de Caso, como método de pesquisa, adota variadas técnicas de coleta de dados, sejam por meio de elementos qualitativos ou quantitativos (CASTRO FILHO; FREIRE; MAIA, 2018; YIN, 2005).

Com isso, para verificar o desempenho conceitual dos estudantes, a aplicação de cada ciclo em sala de aula foi precedida por uma avaliação diagnóstica e finalizada com uma avaliação conceitual, como forma de mensurar o ganho no desempenho conceitual dos estudantes dos tópicos abordados em cada um dos ciclos de aprendizagem. Além disso, foi utilizada uma avaliação diagnóstica geral e uma avaliação conceitual geral, que foram aplicadas com os alunos no início e no fim do semestre, respectivamente. A Figura 18 apresenta o detalhamento do procedimento adotado em sala de aula.

Figura 18 - Detalhamento da aplicação do projeto em sala de aula



Fonte: Elaborada pela Autora.

As avaliações foram criadas a partir do “Teste para verificar se o respondente possui concepções científicas sobre corrente elétrica em circuitos simples”, proposto por Silveira, Moreira e Axt (1989) e bem aceito por professores que já lecionaram o conteúdo de circuitos elétricos. O teste contém 14 questões de múltipla escolha, as quais possuem três alternativas; uma das alternativas é sempre coerente com concepções científicas sobre corrente elétrica, enquanto as outras duas são coerentes com concepções alternativas (SILVEIRA; MOREIRA; AXT, 1989).

Para o teste final, o professor do IFSC utilizou 12 questões do teste de Silveira, Moreira e Axt (1989) – duas questões foram retiradas (questões 7 e 8) por abordarem um conceito mais avançado, não condizente com o que foi explorado durante o semestre. A professora do EFA optou em utilizar um questionário de 15 questões, das quais 5 eram do teste de Silveira, Moreira e Axt (1989) e, as demais, questões que exploravam outros conceitos contemplados durante o semestre.

Para cada ciclo, os professores desenvolveram uma avaliação com 10 questões, que foi aplicada em dois momentos: antes do início das atividades (pré-teste) e após a realização de todas as atividades propostas (pós-teste) de cada ciclo. Nesse caso, ambos professores utilizaram os mesmos testes.

Os estudantes responderam cada teste durante aproximadamente 40 minutos; foi recomendado, expressamente, que os testes deveriam ser realizados de maneira individual e sem consulta a qualquer tipo de material. Para garantir que os estudantes iriam seguir as recomendações supracitadas, os resultados dos testes não foram utilizados para avaliação formal dos estudantes, bem como a participação era voluntária. Haja vista que o teste foi aplicado duas vezes, os estudantes não receberam nenhum tipo de *feedback* sobre seu desempenho, tampouco o respectivo gabarito. Em todos os testes, foi atribuído o score 1 para resposta correta e 0 para as incorretas.

A Tabela 10 apresenta o número de estudantes que respondeu o pré e o pós-teste em cada um dos ciclos e na avaliação geral. Lembrando que os alunos que responderam apenas um dos dois testes (pré ou pós-teste) de cada ciclo foram retirados da amostra.

Tabela 10 - Número de estudantes que responderam o pré e pós-teste em cada um dos ciclos e na avaliação geral

Ciclo de Aprendizagem	Nº de respostas	
	EFA	IFSC
Avaliação geral	21	26
Ciclo 1 – Introdução aos Circuitos Elétricos	17	35
Ciclo 2 – Estudo dos Resistores	18	28
Ciclo 3 – Associação de Resistores	13	32

Fonte: Elaborada pela Autora.

A análise desses dados deu-se a partir de análise descritiva, de testes estatísticos (Teste T e Teste de Wilcoxon Pareado) e pelo teste de ganho normatizado de Hake (Ganho de Hake). A análise se baseia em verificar se o desempenho dos estudantes nos testes conceituais melhorou após a intervenção com o uso de laboratórios online inserido em um Ciclo de Aprendizagem Experiencial de Kolb, além de verificar se houve diferença no desempenho acadêmico entre os estilos de aprendizagem.

O Teste T serve para comparar as médias de dois grupos e é usado quando a variância da população é desconhecida; neste caso, a estatística do teste é calculada com base nas médias, tamanho e desvios padrão de cada amostra, seguindo uma distribuição t-student. O teste de Wilcoxon pareado tem a mesma premissa do teste t pareado, já que ambos são equivalentes – ressalva: com a diferença do teste de Wilcoxon pareado ser um teste não paramétrico e o teste t pareado ser um teste paramétrico.

Testes paramétricos exigem que a distribuição dos dados seja normal e precisam de um tamanho amostral grande, pois, quanto maior o tamanho da amostra, mais preciso será o resultado – além de que os dados devem ser homogêneos e os erros devem ser independentes. Os testes não paramétricos não precisam de todos os requisitos de um teste paramétrico – ou seja, não requerem que a distribuição da população seja caracterizada, homogênea e que tenha tamanho amostral grande, podendo assim ser uma opção para quando os dados não são normais e se possui pequena quantidade amostral, como é o caso dos estilos de aprendizagem dos alunos desse estudo. Em ambos os testes, foi utilizado um nível de significância de 5% ($= 0,05$), que é um nível de significância padrão recomendado pela literatura.

Também foi utilizado o teste de ganho normatizado proposto por Hake, conhecido por Ganho de Hake. O teste Ganho de Hake é definido como a razão entre o ganho obtido pelo aluno e o máximo ganho possível com base em duas avaliações idênticas e na forma de testes

múltipla-escolha (pré-teste e pós-teste). Ou seja, a fórmula mede a melhora no escore do estudante em um teste, levando em consideração seu próprio desempenho. Ele é apurado pela fórmula:

$$g = \frac{\%pós - \%pré}{100\% - \%pré}$$

O numerador da equação corresponde ao ganho efetivo obtido pelo estudante e o denominador à melhora máxima possível de ser alcançada por aquele estudante. Os resultados negativos, obtidos quando o estudante apresenta um escore superior na primeira aplicação do teste, são desconsiderados da análise (Hake, 1998).

O valor de g pode variar entre 0 e 1 (ou entre 0% e 100%), sendo que resultados mais próximos de 1 correspondem a uma melhora mais acentuada. De acordo com Hake (1998), os ganhos normatizados podem ser classificados em três classes: baixo, médio e alto. Um ganho (g) menor que 0,30 é considerado baixo. Um ganho médio apresenta valores no intervalo de: $0,30 \leq g < 0,70$. E um ganho alto apresenta valores de g igual ou acima de 0,70 ($g \geq 0,70$).

3.2.1.1 Inventário de Estilos de Aprendizagem Kolb

David Kolb desenvolveu o Inventário de Estilos de Aprendizagem (KLSI), em 1971, para atuar como uma ferramenta educacional com objetivo de oferecer aos indivíduos o entendimento acerca do processo de aprendizagem experiencial e sua abordagem individual (KOLB; KOLB, 2005). O instrumento é de autoavaliação e foi elaborado para medir a preferência individual em aprender conforme os quatro modos de adaptação da Teoria de Aprendizagem Experiencial. O KLSI é revisado e atualizado desde o seu surgimento a fim de melhorar suas prioridades psicométricas e, ao longo dos anos, Kolb e seus colaboradores disponibilizaram diferentes versões do instrumento. As principais versões são: KLSI 1.0 (1971), KLSI 2.0 (1985), KLSI 3.1 (2005) e KLSI 4.0 (2011).

Atualmente, o inventário é administrado pela Korn Ferry®. A empresa reserva-se ao direito de uso do instrumento – e para sua obtenção para os fins deste estudo foi realizado contato com a empresa, que autorizou a realização da pesquisa, bem como disponibilizou os materiais necessários (Anexo A). As versões disponibilizadas pela empresa são a 3.1 e a 4.0. Para este estudo, a versão utilizada foi a 3.1, uma vez que é a versão disponível gratuitamente para pesquisas acadêmicas.

O KLSI 3.1 consiste em 12 itens de autodescrição. Em cada um desses itens, existem 4 opções de ordenação de acordo com a preferência durante o processo de aprendizagem. Cada

uma das 4 alternativas se refere a um dos 4 modos de aprendizagem definidos por Kolb (1984): CE, RO, CA e EA (conforme apresentado na seção 2.2). Após responder o questionário, é possível avaliar, por meio de cálculos, diagrama e grade, o estilo de aprendizagem individual.

O cálculo é realizado a partir da soma das pontuações de cada modo de aprendizagem (EC, OR, CA e EA). Cada modo terá uma pontuação no intervalo de 12 a 48 – e a soma de todas as pontuações somará um total de até 120. Para identificar qual a preferência entre os modos de adaptação, utiliza-se essas pontuações no Diagrama do Ciclo de Aprendizagem, descrito no *workbook* do KLSI 3.1. No diagrama, os escores de EC, OR, CA e EA devem ser marcados nos pontos correspondentes e conectados para formar um padrão em forma de pipa. O formato da pipa indica quais dos quatro modos de aprendizagem o indivíduo tende a preferir em uma situação de aprendizagem. Quanto mais próximo as linhas estiverem do anel de 100% do círculo, mais o indivíduo tende a usar essa forma de aprendizagem.

Por fim, para determinar o estilo de aprendizagem, deve-se subtrair as pontuações do eixo de captação da experiência (CA e EC) e, depois, do eixo de transformação da experiência (EA e OR). Os pontos de corte para determinar o estilo de aprendizagem são de 7 para o eixo CA-EC e de 6 para o eixo EA-OR. Assim, o estilo Acomodador é definido por uma pontuação AC-CE ≤ 7 e uma pontuação EA-RO ≥ 7 ; o Divergente, por CA-EC ≤ 7 e EA-OR ≤ 6 ; o Convergente, por CA-EC ≥ 8 e EA-OR ≥ 7 , e; o Assimilador, por CA-EC ≥ 8 e EA-OR ≤ 6 . Esses valores podem ser cruzados na Grade de Estilos de Aprendizagem, igualmente descrita no *workbook* do KLSI 3.1, a qual demonstra o estilo de aprendizagem do indivíduo.

O inventário de Kolb foi utilizado neste estudo com dois objetivos principais: (i) oferecer a cada aluno sua análise, a fim de ajudá-los a entender o ciclo de aprendizagem experiencial, identificando seu modo de aprender e, assim, contribuir para o desenvolvimento de habilidades metacognitivas dos alunos e no processo de tomada de decisão; (ii) coletar dados sobre os estilos de aprendizagem e relacioná-los com as variáveis de desempenho conceitual e de motivação, e verificar se diferentes tipos de laboratórios *online*, inseridos em um ciclo de Kolb, favorecem todos os estilos de aprendizagem.

3.2.1.2 *Instructional Materials Motivation Survey* (IMMS)

Para investigar a motivação percebida dos estudantes em aprender com a ajuda dos laboratórios *online*, a partir dos preceitos da teoria de Kolb, foi adotado o instrumento de coleta de dados *Instructional Materials Motivation Survey* (IMMS), a fim de medir o nível de motivação dos estudantes (HUANG et al., 2006), (KELLER, 2009).

O IMMS tem como base o modelo de design motivacional ARCS, desenvolvido por

Keller (2009), e mede os níveis de *atenção*, *relevância*, *confiança* e *satisfação* em aprender com determinados materiais instrucionais. O modelo ARCS é um acrônimo em inglês para Atenção, Relevância, Confiança e Satisfação – categorias que representam um conjunto de conceitos relacionados à motivação.

Nesse sentido, o modelo de Keller (2009) consiste em estratégias fundamentais para promover a motivação dos alunos nos processos de aprendizagem, propondo que os professores devem fornecer ambientes de aprendizagem com estímulos motivacionais a fim de gerar bons resultados educacionais. Alunos motivados têm maior probabilidade de se envolver e de persistir para se chegar ao sucesso de uma atividade educacional, frente àqueles que não estão motivados (KELLER, 2009). O esforço dispensado para a realização de algo é influenciado por fatores que envolvem o nível de atenção, curiosidade, percepção de relevância do assunto ensinado e sentimentos de confiança e expectativa de sucesso, que são traduzidos em desempenho e satisfação. A motivação pode ser definida como aquela que explica a direção e a magnitude do comportamento; ou seja, explica quais objetivos as pessoas escolhem para buscar e quão ativamente ou intensamente elas os perseguem (Keller, 1987). O modelo propõe os seguintes fatores motivacionais:

- **Atenção:** É um pré-requisito para a aprendizagem. A preocupação motivacional é obter e, principalmente, manter a atenção. Os materiais instrucionais devem captar a atenção dos alunos e os levar a explorar tarefas de aprendizagem (KELLER; SUZUKI, 2004). Para fazer isso, é necessário despertar a curiosidade dos alunos em busca do conhecimento. O objetivo é estimulá-los dentro de um equilíbrio entre o tédio e a indiferença e a hiperatividade e a ansiedade (KELLER, 2009).
- **Relevância:** Os alunos serão motivados quando o conteúdo se alinhar com seus objetivos de aprendizagem, necessidades pessoais e experiências anteriores (KELLER; SUZUKI, 2004). Os alunos precisam compreender a importância daquele conhecimento para a sua vida, seja para o seu dia a dia, seja para uma futura carreira ou, simplesmente, pela valorização daquele conhecimento. A relevância pode vir da maneira como algo é ensinado, e não necessariamente vir do próprio conteúdo. Exemplo: pessoas com alta “necessidade de realização” desfrutam da oportunidade de definir metas desafiadoras e de assumir responsabilidade pessoal por alcançá-las” (KELLER, 1987, p. 3).
- **Confiança:** Quanto mais bem-sucedida for a experiência do aluno, mais motivado ele estará para melhorar seu aprendizado e desempenho. A confiança que o aluno deposita no processo de aprender pode influenciar na sua persistência e realização. Essa confiança está relacionada ao nível de expectativa de sucesso que ele acredita possuir

em cada atividade desenvolvida. Com isso, o professor/material instrucional deve contribuir para que o aluno entenda que algum nível de sucesso é possível se houver esforço (KELLER, 2009).

- **Satisfação:** Para que os alunos tenham um desejo contínuo de aprender, eles devem ter sentimentos de satisfação com o processo ou com os resultados da experiência de aprendizagem. A satisfação pode resultar de fatores extrínsecos – como feedback, notas, oportunidades de promoção, certificados e etc. – ou por fatores intrínsecos. Os fatores intrínsecos estão relacionados a sentimentos de autoestima, interações positivas e sentimentos de competência (KELLER, 2009). Um desafio do professor é fornecer contingências apropriadas sem excesso de controle – que os fatores extrínsecos podem causar – e encorajar o desenvolvimento da satisfação intrínseca.

Dentro desse contexto, o questionário IMMS é composto por 36 itens de pesquisa, dispostos em uma escala Likert de 5 pontos (“discordo totalmente”, “discordo parcialmente”, “sem opinião”, “concordo parcialmente” e “concordo totalmente”), no qual 12 itens medem a *atenção*; 9 itens medem *relevância*; 9 itens medem a *confiança*, e; 6 itens medem a *satisfação*. A Tabela 11 apresenta os itens conforme a categoria. Observe que os itens marcados com “reversa” são afirmativas declaradas de maneira negativa. As respostas desses itens devem ser revertidas antes de serem adicionadas ao total de respostas (KELLER, 2009).

Tabela 11 - Itens questionário *Instructional Materials Motivation Survey (IMMS)*

Atenção	Relevância	Confiança	Satisfação
2	6	1	5
8	9	3 (reverso)	14
11	10	4	21
12 (reversa)	16	7 (reverso)	27
15 (reversa)	18	13	32
17	23	19 (reverso)	36
20	26 (reverso)	25	
22 (reversa)	30	34	
24	33	35	
28			
29			
31 (reversa)			

Fonte: Elaborada pela Autora.

Em diferentes estudos, Keller documentou um coeficiente de confiabilidade de 0,96 para o IMMS, e estudos têm utilizado com sucesso esse instrumento de coleta de dados para avaliação e análise de resultados (DI SERIO; IBÁÑEZ; KLOOS, 2013; GARZÓN et al., 2020). Como o instrumento original foi adaptado para a língua portuguesa, fez-se necessária a

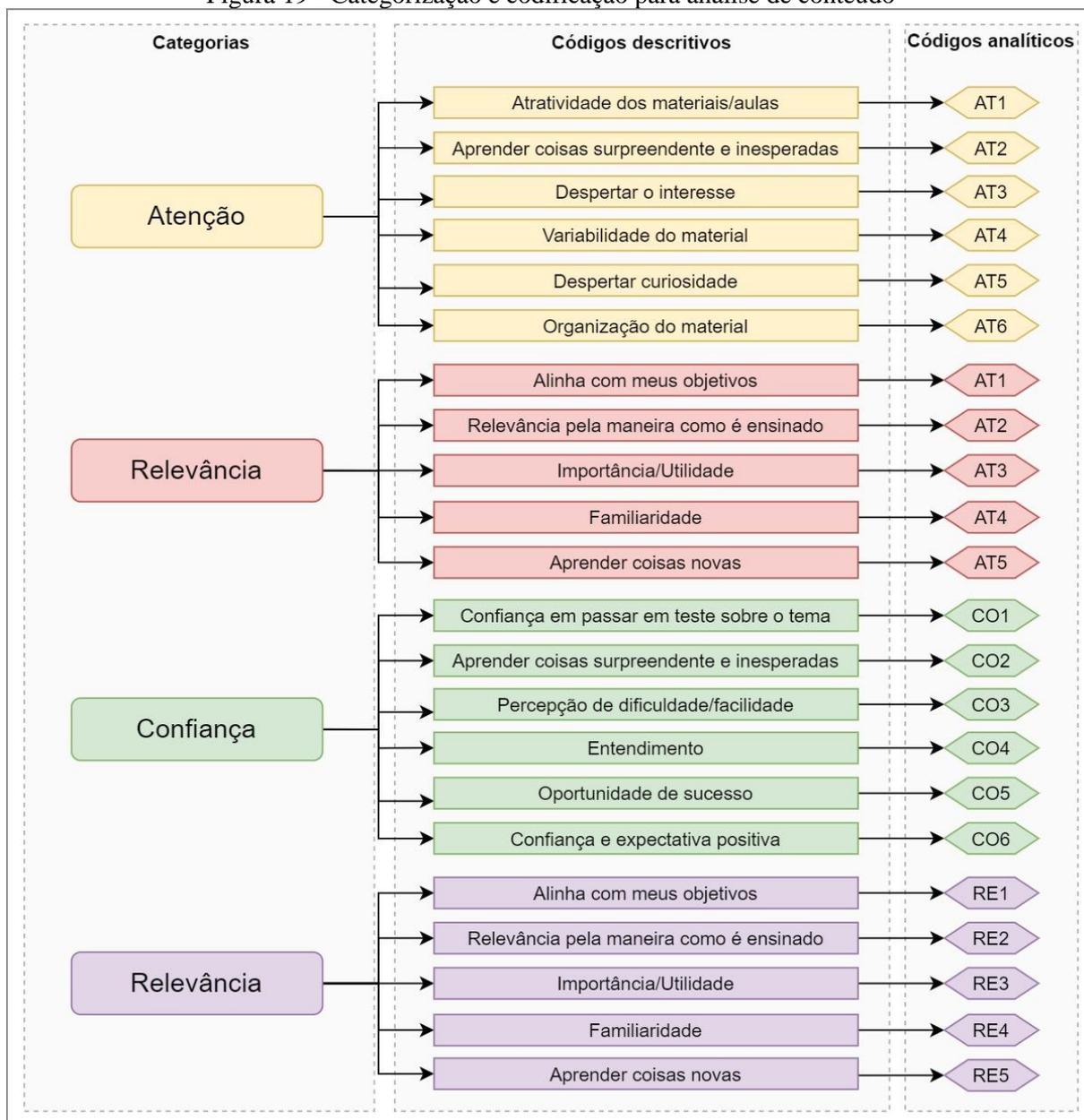
verificação da consistência interna do instrumento IMMS. Utilizando a ferramenta SPSS foi obtido $\alpha = 0,85$, sendo, portanto, considerado válido para investigar o nível de motivação em pesquisas educacionais na língua portuguesa. O questionário foi respondido por 34 alunos no estudo final – 10 alunos da unidade de análise EFA e 24 alunos da unidade de análise IFSC.

Ao fim do questionário IMMS, ainda foi acrescentada uma questão aberta, a fim de conhecer melhor a experiência do aluno. A questão aberta foi formulada da seguinte forma:

- *Conte como foi sua experiência durante a aprendizagem sobre circuitos elétricos. Relate aspectos que você gostou das aulas, do material didático, laboratórios virtuais, remoto e realidade aumentada, e aspectos que poderiam ser melhorados, e também as eventuais dificuldades encontradas durante esse processo.*

Essa questão foi respondida por 24 alunos – 5 da unidade de análise EFA e 19 da unidade de análise IFSC. A análise dos relatos dos estudantes se deu por meio de uma análise de conteúdo, seguindo as orientações de Bardin (2016). Os dados foram organizados para leitura e, em seguida, foram codificados; e as informações categorizadas conforme as categorias do modelo ARCS de motivação. A Figura 19 demonstra o modelo de codificação e a categorização para a análise de conteúdo.

Figura 19 - Categorização e codificação para análise de conteúdo



Fonte: Elaborada pela Autora.

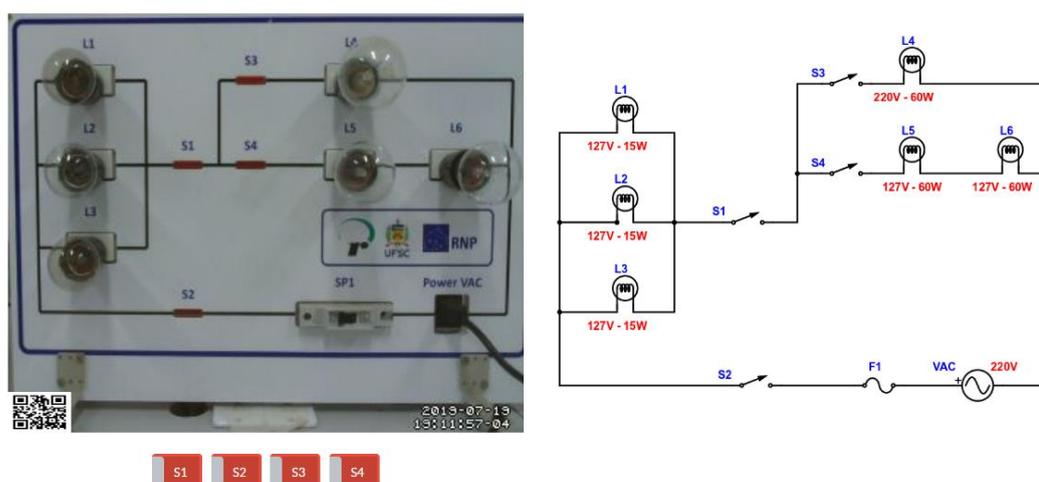
A seguir será apresentado o Laboratório Remoto Aumentado desenvolvido no âmbito desta tese. Os estudo e desenvolvimento de laboratórios híbridos para a educação ainda estão em estágio inicial; com isso, fez-se necessário o desenvolvimento de um LRA a fim de explorar diferentes tipos de laboratórios *online* para o ensino de circuitos elétricos. Dessa forma, a próxima seção tem como objetivo apresentar o LRA construído, detalhando sua arquitetura, com propósito de trazer *insight* importantes para o desenvolvimento desse tipo de recurso tecnológico.

3.3 Desenvolvimento do Laboratório Remoto Aumentado

O LRA construído foi desenvolvido a partir de um laboratório remoto já existente, disponibilizado pelo Laboratório de Experimentação Remota – Rexlab. Atualmente, o Rexlab possui disponíveis em seu *site* de forma gratuita, *open source* e *open hardware*, 15 laboratórios de construção própria e 9 LR de outras instituições. O aprimoramento de um laboratório remoto já existente visa a entender de que forma pode-se reaproveitar recursos para criar novos arranjos de experimentação prática.

O primeiro LRA desenvolvido foi o “Painel Elétrico CA Aumentado”, que utilizou o experimento Painel Elétrico CA, disponibilizado pelo Rexlab (Figura 20). Este experimento aborda as associações em série, paralela e mista em redes de corrente alternada. Nele é possível observar a intensidade luminosa de seis lâmpadas variar de acordo com a configuração do circuito. Para isso, quatro chaves são dispostas em diferentes pontos e controladas pelo usuário.

Figura 20 - Painel Elétrico CA disponibilizado pelo Rexlab
Painel Elétrico CA



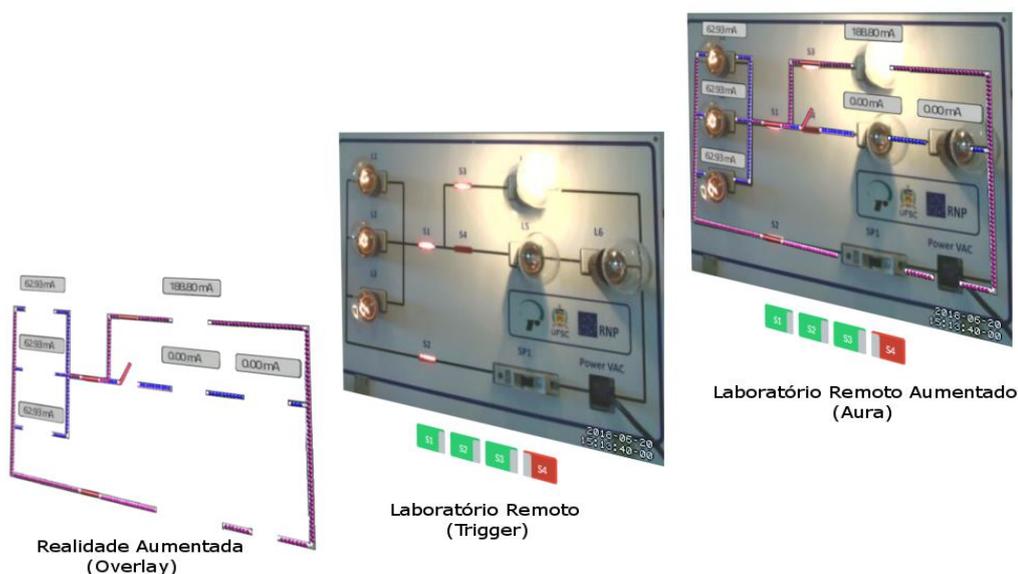
Fonte: relle.ufsc.br.

Como apresentado por Andújar, Mejías e Marquez (2011), a RA em laboratórios remotos pode criar diferentes oportunidades de aprendizagem prática a partir de um mesmo experimento; ou seja, conforme a composição dos elementos virtuais, um único laboratório remoto pode ser utilizado para diferentes objetivos educacionais. Pensando nisso, o Painel Elétrico CA foi complementado com objetos virtuais com objetivo de apoiar o ensino dos conceitos básicos de eletricidade – tais como: Lei de Ohm, divisão de corrente e tensão.

A RA foi utilizada com as duas funcionalidades definidas por Maiti, Kist e Smith (2016).

Primeiramente, a RA como visibilidade induzida foi incluída a fim de demonstrar de forma lúdica como a corrente elétrica percorre o circuito, mostrando a presença, ausência e sua intensidade. Posteriormente, através das informações sobrepostas, foram acrescentados os valores das correntes em cada ponto do circuito. A Figura 21 demonstra o objeto 3D criado, o *streaming* do laboratório remoto e o *streaming* do laboratório remoto com informações sobrepostas em Realidade Aumentada.

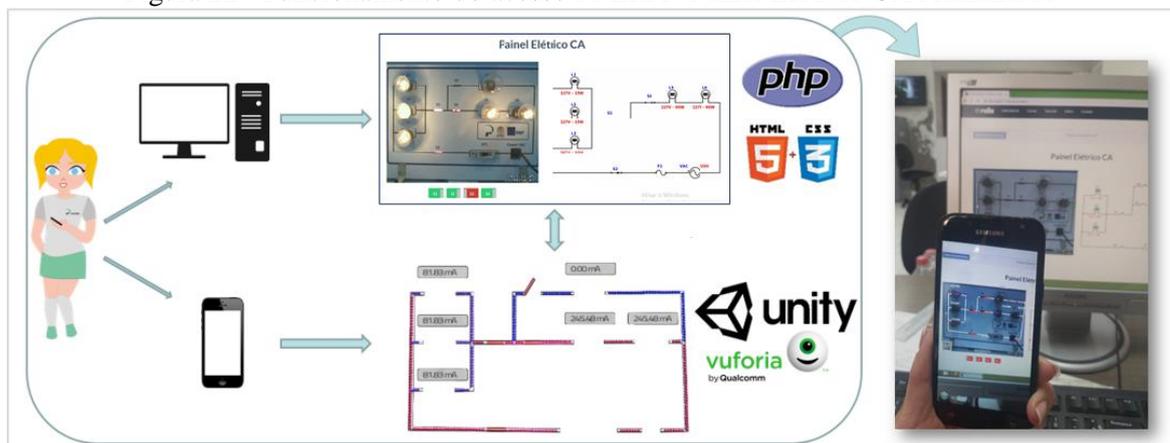
Figura 21 - Detalhamento da composição de RA no experimento “Painel Elétrico CA”



Fonte: Elaborada pela Autora.

Como marcador para a RA, é utilizado o próprio *streaming* de vídeo do experimento remoto. Assim, o estudante deve apontar seu *smartphone* para a tela do computador para visualizar e interagir com laboratório remoto aumentado. A Figura 22 demonstra como ocorre o acesso ao LRA “Painel Elétrico CA Aumentado”.

Figura 22 - Funcionamento do acesso ao LRA “Painel Elétrico CA Aumentado”



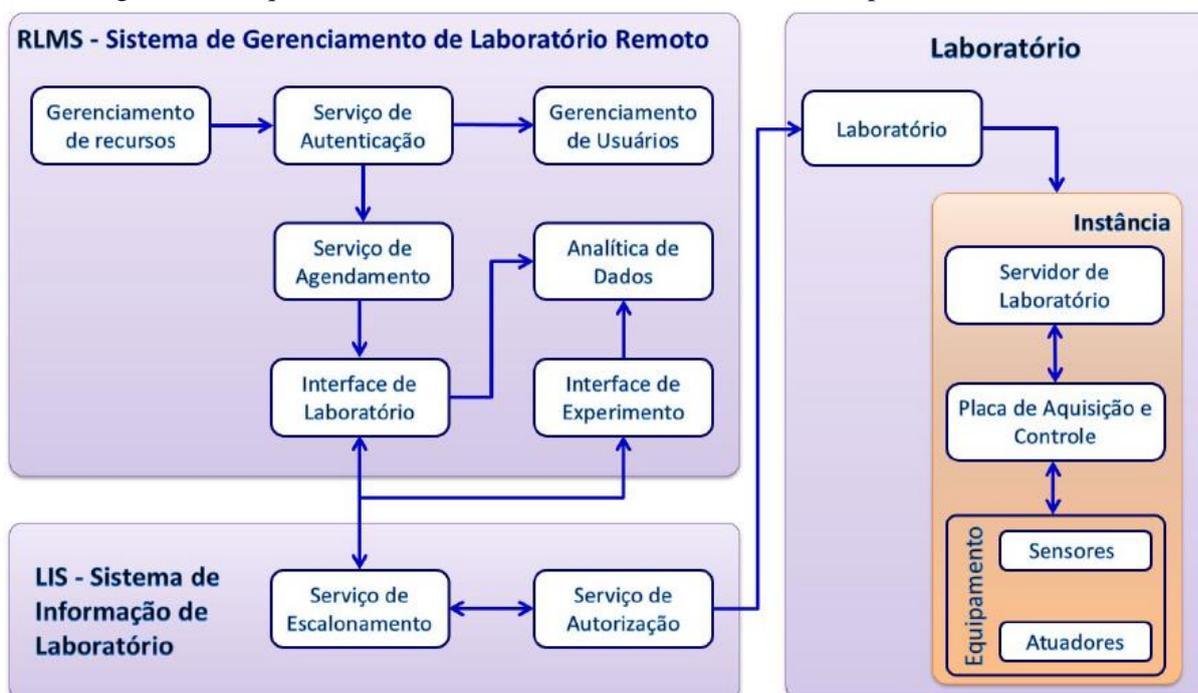
Fonte: Elaborada pela Autora.

A seguir é apresentado o desenvolvimento do Laboratório Remoto Aumentado. Como o LRA foi construído a partir de um laboratório remoto já existente, desenvolvido pelo Rexlab, na próxima seção (3.3.1) é apresentada a arquitetura dos laboratórios remotos disponibilizados pelo Rexlab, a qual foi utilizada para o desenvolvimento do LRA. Na seção subsequente (3.3.2), é apresentada a arquitetura do Laboratório Remoto Aumentado desenvolvido.

3.3.1 Arquitetura dos Laboratórios Remotos disponibilizados pelo Rexlab

Todos os experimentos desenvolvidos pelo Rexlab são implementados a partir de uma arquitetura padronizada, de *hardware* e *software* básico. A diferenciação entre os experimentos está apenas nos tipos diferentes de sensores e de atuadores, que são instalados de acordo com as especificidades dos experimentos remotos disponibilizados. A arquitetura, denominada RELLE (*Remote Labs Learning Environment*), é dividida em três módulos: o Laboratório, que trata dos componentes reais; o Sistema de Gerenciamento de Laboratório Remoto (RLMS), e; o Sistema de Informação de Laboratório – LIS (Figura 23) (CARLOS et al., 2018). A seguir, são detalhados alguns pontos da arquitetura que estão diretamente relacionados com a arquitetura desenvolvida para o Laboratório Remoto Aumentado.

Figura 23 - Arquitetura dos Laboratórios Remotos desenvolvidos pelo Rexlab – RELLE



Fonte: (CARLOS et al, 2018).

Cada instância de laboratório (Módulo Laboratório) possui *inputs* e *outputs*³ automatizados pela integração de sensores e de atuadores a uma placa de controle e aquisição desenvolvida pelo Rexlab, que pode ser acessada por meio do servidor de laboratório – um serviço Node.js hospedado em um *Single-Board Computer* (SBC), normalmente um Raspberry pi. Esse módulo também é responsável pelo serviço de *streaming*, o qual gerencia e disponibiliza o *streaming* no formato MJPEG (Motion JPEG), que é gerado por uma câmera *web* com conexão USB (CARLOS et al., 2018; LIMA et al., 2015).

O bloco de Interface de Laboratório do módulo RLMS, que oferece a interface de *front-end* para acesso e interação com os laboratórios, é desenvolvido em PHP 5.5 utilizando o *framework* Laravel em seu *backend*, sendo seu *frontend* desenvolvido em HTML, fazendo uso do *framework* CSS Bootstrap, em conjunto à biblioteca JavaScript jQuery. O RELLE provê uma página comum para cada experimento do qual carrega os dados que foram inseridos no momento da publicação do experimento (armazenados em uma base de dados).

O Sistema de Informação de Laboratório (LIS), por sua vez, garante que dois usuários não acessem o experimento ao mesmo tempo. A partir do botão “Acessar” da página *web*, o sistema dispara um evento para comunicação com a Web API FCFS e, desse modo, se houver outro usuário utilizando o experimento, o usuário será inserido em uma fila respeitando a ordem de chegada, em um sistema de fila FIFO (*First In, First Out*). Caso contrário, o sistema disponibiliza uma senha/código (*token*) de sessão e o cliente obtém a permissão para acessar e carregar todos arquivos (html, css e js). Após carregar o cliente para o *Smart Device* (client.js), uma conexão *WebSocket* com este dispositivo é estabelecida (LIMA et al., 2015).

3.3.2 Arquitetura desenvolvida para o Laboratório Remoto Aumentado utilizando Laboratório Remoto do Rexlab

Os objetos 3D desenvolvidos para a composição dos laboratórios remotos aumentados foram modelados e animados por meio da ferramenta Unity 3D (2018), que nativamente oferece suporte ao desenvolvimento para Android. A linguagem de programação empregada foi C#, uma das linguagens padrão de desenvolvimento em Unity. Para a integração das tecnologias de realidade aumentada, utilizou-se o *framework* Vuforia (2018), que está disponível gratuitamente e que oferece uma plataforma de visão computacional que permite a construção de experiências

³ Input/output (I/O) – Entrada/Saída (E/S) – são termos utilizados no ramo da computação para indicar entrada (inserção) de dados por meio de algum código ou programa, para algum outro programa ou hardware, bem como a sua saída (obtenção de dados) ou retorno de dados, como resultado de alguma operação.

interativas, além de apresentar diversos recursos relacionados à RA (Herpich et al., 2017).

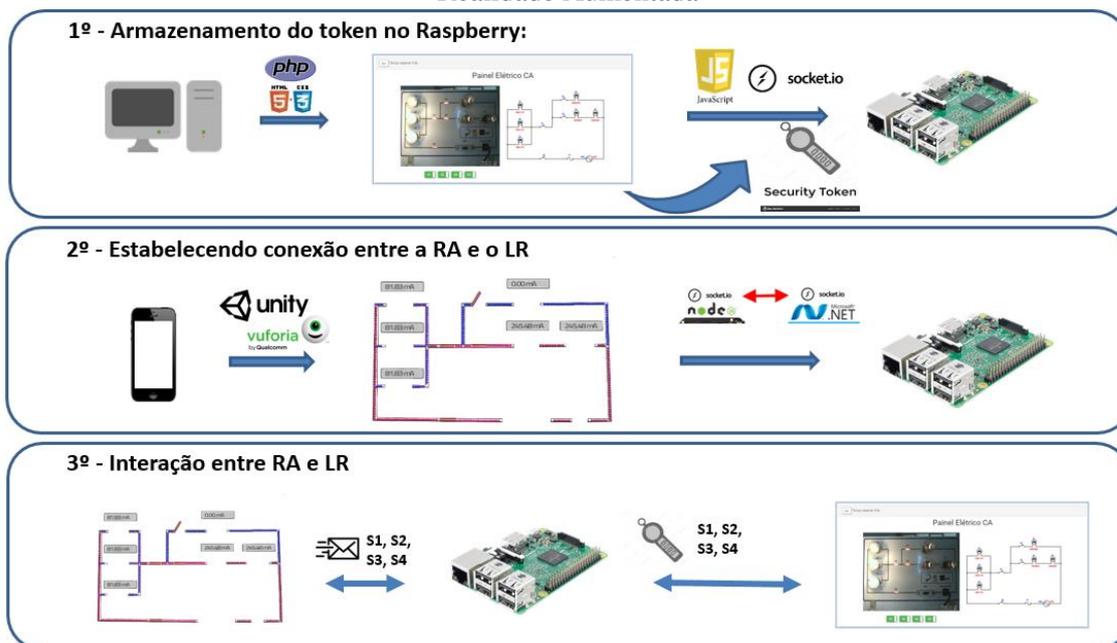
Através de uma série de abstrações, o Vuforia possibilita que se relacionem marcadores; isto é, imagens de alto contraste presentes em um banco de dados, com modelos tridimensionais programáveis, desenvolvidos em Unity. Assim, quando o algoritmo da própria API (*Application Programming Interface*⁴) detecta através da câmera a presença de um marcador conhecido, gera na tela o modelo tridimensional correspondente.

Para que a RA pudesse interagir com *hardware* do laboratório remoto de forma bidirecional foi necessário o desenvolvimento de um protocolo de comunicação entre o aplicativo de RA e o Laboratório Remoto, de modo que toda a alteração realizada nos objetos virtuais refletisse no laboratório real, da mesma forma que as alterações no LR refletisse na RA.

Desse modo, essa comunicação foi implementada através de um sistema de *web sockets*, no qual, a cada interação do usuário, pacotes de informação são enviados do aplicativo de RA cliente diretamente ao servidor, que os processa e aplica as mudanças no experimento real de acordo com os dados recebidos. Para implementar o sistema em questão, foi utilizada a *SocketIO*, uma biblioteca *Javascript* no servidor (Laboratório Remoto) e uma biblioteca *C#* no cliente (Unity), que oferecem funcionalidades para a comunicação em tempo real entre clientes e servidores através da *web*. Detalhadamente, a comunicação entre o Unity e o laboratório remoto é feita em três etapas (Figura 24).

⁴ Interface de Programação de Aplicação é um conjunto de rotinas e padrões estabelecidos por um software para a utilização das suas funcionalidades por aplicativos que não pretendem envolver-se em detalhes da implementação, mas apenas usar seus serviços. Fonte: <https://www.redhat.com/pt-br/topics/api/what-are-application-programming-interfaces>.

Figura 24 - Detalhamento do funcionamento da comunicação entre o Laboratório Remoto e a Realidade Aumentada



Fonte: Elaborada pela Autora.

- **Armazenamento do token no Raspberry:** esta etapa consiste no armazenamento do *token* no Raspberry (Computador Embarcado). Após o usuário possuir a permissão para acessar o experimento, o Raspberry armazena o *token* da sessão em uma variável. Esse *token* servirá para conceder permissão de acesso a aplicação de RA para acessar a sessão que foi aberta pela página *web* do experimento, uma vez que o LIS bloqueia o acesso de mais de um cliente ao experimento ao mesmo tempo.
- **Estabelecendo conexão entre a RA e o LR:** ao acessar a aplicação de Realidade Aumentada, um *script* utilizando a biblioteca *SocketIO* no *C#* envia uma solicitação de conexão para o Raspberry. Neste momento, é estabelecida a conexão entre a RA e o Laboratório Remoto.
- **Interação entre RA e LR:** com a conexão estabelecida, iniciam-se as trocas de informações entre a aplicação de RA, Raspberry e a página do experimento. Quando a RA envia uma informação para alterar o estado do experimento, o Raspberry utiliza a variável que está armazenado o *token* da sessão e envia essas informações (chaves para alterar enviadas pela RA e o token) para a página do experimento; a página altera os estados das chaves presentes na página e envia novamente para o Raspberry, o qual enviará os comandos para a placa de aquisição e controle para a alteração do estado do laboratório real. Do mesmo

modo, se o usuário alterar os estados das chaves do experimento na página *web*, isso refletirá na RA. A página envia as alterações para o Raspberry e o Raspberry envia para a RA.

O usuário tem acesso a RA por meio do aplicativo avatAR-LRA⁵, que pode ser encontrado na loja de aplicativos Play Store.

⁵ Disponível em <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.DefaultCompany.avatarLabRemote>>

4. RESULTADOS

Esta seção tem como objetivo apresentar e discutir os resultados obtidos com o desenvolvimento desta pesquisa de tese. Devido à investigação contemplar a construção de um Laboratório Remoto Aumentado, além da realização do estudo final, foram feitos estudos preliminares a fim de validar a ferramenta desenvolvida. Com isso, as próximas seções (4.1; 4.2; 4.3) apresentam os resultados dos três estudos de caso exploratórios. E a seção 4.4 apresenta e discute os resultados do estudo final explanatório, que tem como objetivo investigar se o uso de Laboratórios Remoto, Virtual e Remoto Aumentado, a partir dos preceitos da Teoria de Aprendizagem Experiencial, pode interferir positivamente nos processos de ensino e aprendizagem de circuitos elétricos no contexto do ERE, em termos de desempenho conceitual e motivação.

4.1 Primeiro estudo: validação do Laboratório Remoto Aumentado desenvolvido

Um estudo de caso exploratório foi realizado com três turmas: duas de ensino superior e uma de ensino médio técnico. O objetivo deste estudo preliminar foi testar, revisar e aprimorar as tecnologias desenvolvidas e verificar as possibilidades da inclusão do laboratório remoto aumentado nas práticas pedagógicas. Desse modo, o LRA foi utilizado como revisão de conteúdo, por meio da realização de atividades práticas.

A primeira investigação foi realizada no curso de Tecnologias da Informação e Comunicação da UFSC – Campus Araranguá, com 25 alunos das disciplinas de Introdução às Tecnologias da Informação e Comunicação (13 alunos) e de Estrutura de Computadores (12 alunos). E a segunda investigação foi realizada com 31 alunos da disciplina de Eletrônica no curso técnico em Eletromecânica do IFSC – Campus Araranguá. O curso é configurado na modalidade concomitante ao ensino médio e a disciplina em questão é ofertada no 3º ano do ensino médio.

4.1.1 Percepções dos alunos do ensino superior ao utilizar o laboratório remoto aumentado

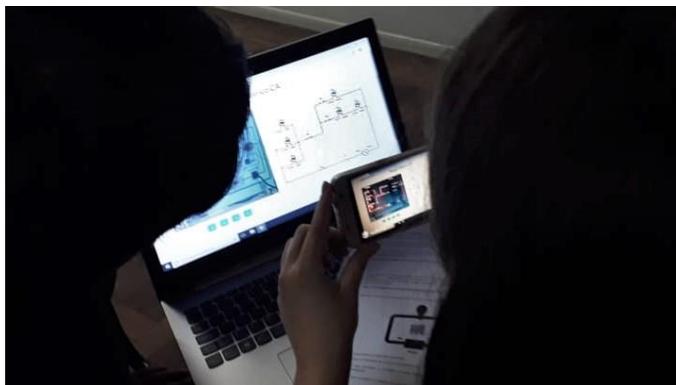
No curso de Tecnologias da Informação e Comunicação, os laboratórios *online* foram utilizados como apoio para ensino de portas lógicas e suas funções, com objetivo de apresentar os elementos básicos de organização de computadores: portas lógicas e circuitos combinacionais e sequenciais, visando à compreensão do que há no interior de um circuito

integrado. O tema, tradicionalmente, é abordado de forma expositiva devido à dificuldade encontrada pelo professor de explorar esses conceitos em experiências práticas – visto que a universidade não dispõe de equipamentos adequados para a realização de aulas práticas.

As atividades em sala de aula ocorreram em 2 aulas (1h40min). A primeira aula foi reservada para a instalação do aplicativo móvel para acesso ao laboratório *online*, com orientações de uso e início das atividades práticas. Na segunda aula, os alunos realizaram as duas atividades práticas propostas explorando o recurso tecnológico desenvolvido. Para isso, foi disponibilizado um material impresso com orientações para instalação e uso do aplicativo de RA; as instruções eram acompanhadas por *QR Codes* que facilitaram a localização do aplicativo na Play Store.

Já na atividade 2 os alunos precisavam acessar o LRA (Figura 25) para responder 6 questões. Para responder tais questionamentos, os alunos precisavam alterar as configurações do circuito e, a partir da observação do comportamento luminoso das lâmpadas e do comportamento da corrente elétrica demonstrada na RA, descrever o que estava acontecendo com o circuito elétrico.

Figura 25 - Imagem dos estudantes em sala de aula utilizando o Laboratório Remoto Aumentado



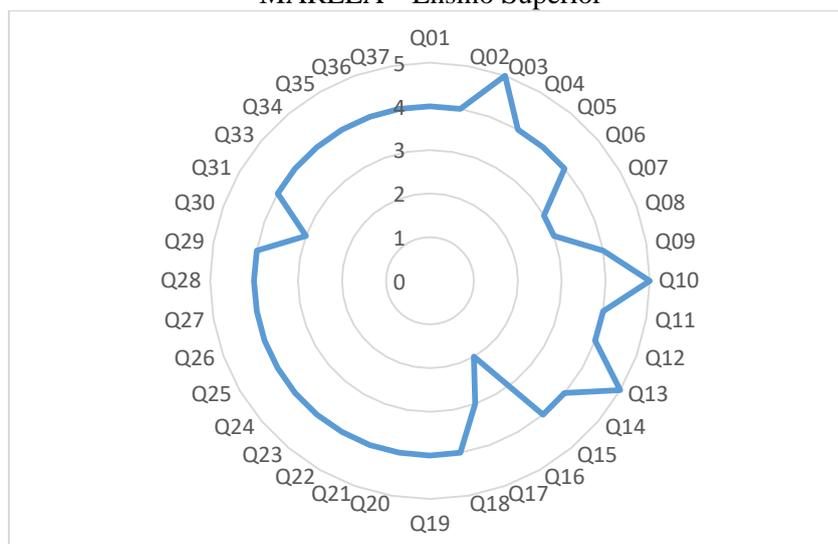
Fonte: Acervo pessoal da Autora.

Ao fim das atividades, os alunos foram convidados a responder o questionário MAREEA (Modelo de avaliação de abordagens educacionais em Realidade Aumentada Móvel). O MAREEA, desenvolvido por Herpich et al. (2019), visa a avaliar as abordagens educacionais em realidade aumentada móvel com o propósito de verificar a percepção da qualidade em termos de experiência de uso e de aprendizagem dos seus usuários após a interação com tais recursos em contexto educacional.

Dessa forma, a utilização do modelo neste estudo teve como objetivo conhecer a percepção dos estudantes em relação ao engajamento, motivação, usabilidade e aprendizagem – elementos abordados pelo MAREEA – durante a experiência com o LRA. Para fins dessa

pesquisa, a questão Q32, que questionava sobre o *feedback* de áudio para aprender, foi desconsiderada, uma vez que o laboratório não possui saída de áudio. Dos 25 alunos das duas turmas, 20 responderam ao questionário. De modo geral, pode-se perceber que os alunos tiveram uma boa aceitação da abordagem utilizada. As respostas ficaram com valor de moda entre 4 e 5, que corresponde a “Concordo Parcialmente” e a “Concordo Totalmente”, respectivamente (Figura 26).

Figura 26 - Moda calculada para as frequências apresentadas para cada afirmativa do questionário MAREEA – Ensino Superior



Fonte: Elaborada pela Autora.

Essa postura positiva também pôde ser encontrada entre os relatos dos estudantes na questão aberta, na qual eles precisavam indicar pontos positivos e negativos sobre o uso dos aplicativos em aula. Abaixo são apresentadas algumas dessas respostas:

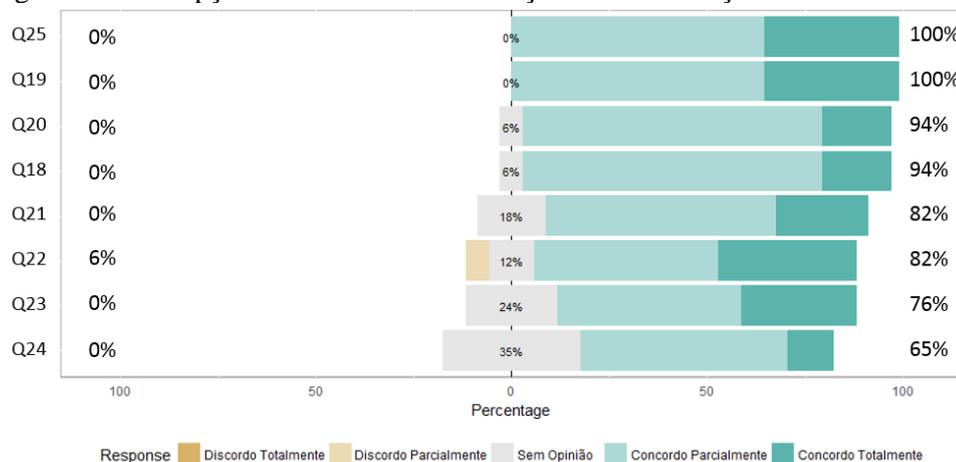
Gostei muito da interatividade que envolve o uso do aplicativo. Permite ao aluno participar de maneira mais ativa na construção de seu próprio conhecimento, aumentando o interesse e a satisfação no processo de aprendizagem. Muito bacana! (Aluno 2).

Um app muito bom, que desperta o nosso interesse, o trabalho de conexão da realidade aumentada com o laboratório remota é muito impressionante. (Aluno 19).

Fazendo uma análise separada por dimensão, evidencia-se que a percepção dos estudantes em relação à sua motivação em utilizar o aplicativo apresentou índices com alta concordância quando comparados com as questões das outras dimensões (Figura 27). A motivação exerce um papel fundamental no processo de construção do conhecimento, uma vez que é ela que ativa a conduta dos estudantes e os orienta em determinado sentido para alcançar

um objetivo, aguçando a curiosidade e o despertar investigativo (ALVES JUNIOR; CARMO; TRAVASSOS, 2011).

Figura 27 - Percepção dos estudantes em relação a sua motivação com o uso do LRA



Fonte: Elaborada pela Autora.

Nesta dimensão, destaca-se a questão “*Q25. Eu realmente gostei de estudar com este aplicativo de realidade aumentada*”, a qual obteve 65% de concordância parcial e 35% de concordância total. Da mesma forma, a questão “*Q19. Está claro para mim como o conteúdo educacional deste aplicativo de realidade aumentada está relacionado as coisas que conheço*”, com um índice de concordância parcial e total de 65% e 35%, respectivamente. Essa questão está relacionada à maneira significativa em que o conteúdo é apresentado, estabelecendo conexão do tema abordado com experiências anteriores dos alunos.

A questão “*Q18. A forma como a informação é organizada no aplicativo de realidade aumentada ajudou a manter minha atenção*” também obteve índices importantes, com 76% de concordância parcial e 18% concordância total. Nesse sentido, a maioria alunos demonstrou surpresa em utilizar a RA em sala de aula, principalmente em relação ao laboratório remoto aumentado, em que as interações no objeto virtual refletiam no laboratório real remoto. Como pode ser evidenciado entre os relatos dos estudantes:

Além da realidade aumentada em si, a interatividade com a tela para abrir e fechar as telas foi bastante impressionante. (Aluno 18).

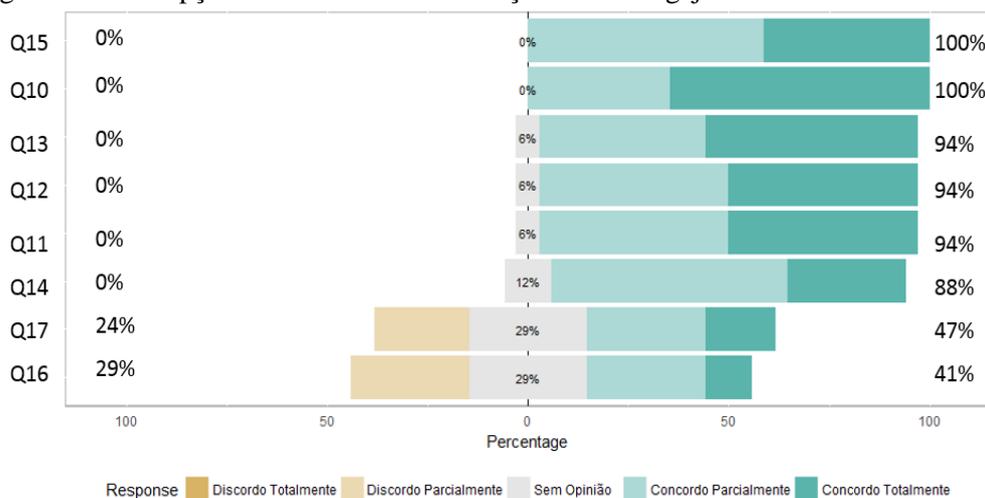
O aplicativo é simples e intuitivo, o funcionamento conectado ao laboratório remoto é muito interessante [...]. (Aluno 19).

Vale destacar que, para essa dimensão, apenas a questão “*Q22. Estou confiante de que entendi o conteúdo educacional mais complexo usando este aplicativo de realidade aumentada*” recebeu respostas negativas, com 6% de apontamentos “discordo parcialmente”.

A dimensão de engajamento (Figura 28), com objetivo de verificar o quanto os

estudantes se sentiram engajados durante as atividades com o LRA, destaca-se pela questão “Q15. *Eu me interessei por esse aplicativo de realidade aumentada*”, a qual obteve índice de concordância parcial e total de 41% e 59%, respectivamente. Ainda, destacaram-se questões relacionadas ao divertimento e à curiosidade (Q13 e Q14), as quais demonstram que os alunos estavam predominantemente interessados nas atividades com uso das TIC. Porém, a questão “Q16. *Eu estava tão envolvido na tarefa com este aplicativo de realidade aumentada que perdi a noção do tempo*” apresentou índices baixos de concordância.

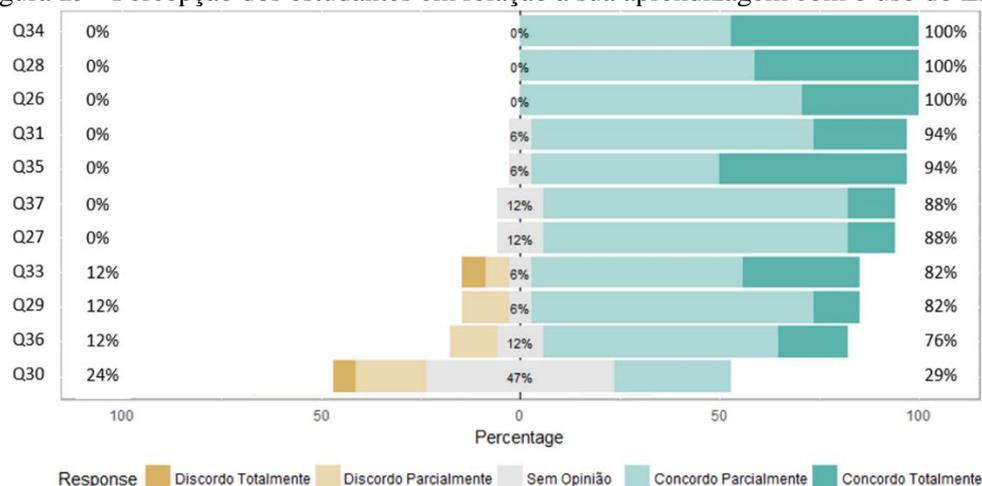
Figura 28 - Percepção dos estudantes em relação ao seu engajamento com o uso do LRA



Fonte: Elaborada pela Autora.

Em relação à aprendizagem percebida com uso do LRA, os estudantes, de modo geral, tiveram uma postura positiva (Figura 29). Entre as suas respostas, as questões que obtiveram melhores índices de concordância afirmavam que o LRA foi útil para o aprendizado (Q28) e permitiu a melhor compreensão do conteúdo educacional (Q26) – ambas com 100% de concordância.

Figura 29 - Percepção dos estudantes em relação a sua aprendizagem com o uso do LRA



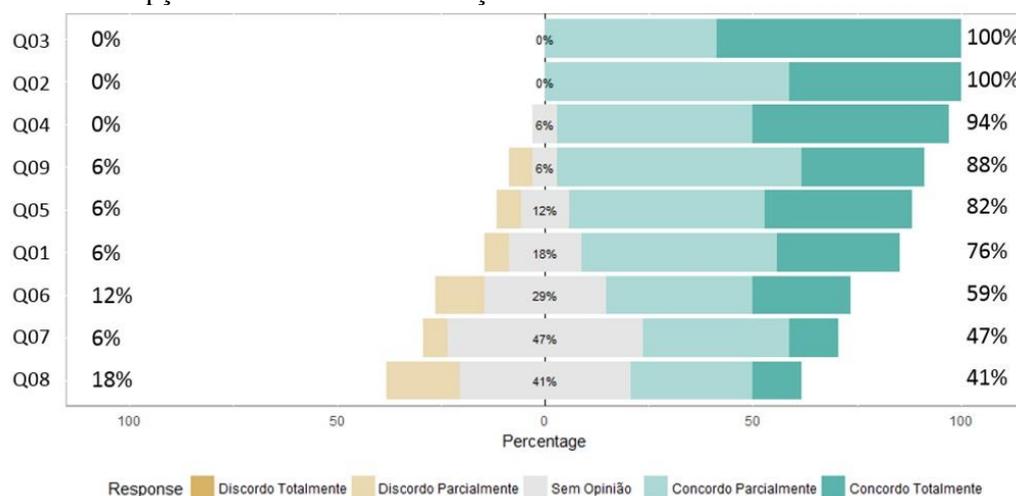
Fonte: Elaborada pela Autora.

A dimensão de usabilidade (Figura 30) apresentou os índices mais baixos em relação às outras dimensões, o que demonstra que o aplicativo precisava ser melhorado em relação à interface. A questão “Q08. A interface destes aplicativos de realidade aumentada é atraente” apresentou 41% de alunos que preferiram não opinar e 18% de discordância. Essa percepção também pôde ser evidenciada nos relatos dos estudantes:

No geral gostei, só acho que a interface poderia melhorar. (Aluno 8).

Achei bem prático e fácil de usar e seria bastante interessante se fosse possível incluir no aplicativo pequenas informações sobre os conceitos de circuitos em paralelos e em série, por exemplo, isso já traria um aprendizado melhor já que nas escolas se trabalha muito com teorias. (Aluno 15).

Figura 30 - Percepção dos estudantes em relação a usabilidade com o uso dos laboratórios *online*



Fonte: Elaborada pela Autora.

Vale destacar que, apesar dos alunos sugerirem melhorias na interface dos aplicativos, a maioria dos estudantes relatou que não teve problemas em aprender a utilizar o aplicativo, afirmando ser de fácil uso – como apresentado nas questões Q2 e Q3.

A partir da aplicação em sala de aula pôde-se perceber que o Laboratório Remoto Aumentado despertou motivação e interesse nos alunos. Os estudantes demonstraram surpresa em utilizar esses recursos em sala de aula e ficaram envolvidos com as atividades propostas. Com isso, evidencia-se a necessidade de incorporar tecnologias emergentes como suporte ao ensino, com o objetivo de inovar nos processos de ensino e aprendizagem, a fim de motivar e engajar os alunos no seu processo de construção do conhecimento.

Entretanto, é importante ressaltar que a novidade do uso das tecnologias em sala de aula pode ser um fator influenciador para os resultados positivos apresentados. Os estudantes relataram que, apesar de estar em um curso de Tecnologias da Informação e Comunicação, poucos professores utilizam ferramentas dessa natureza em suas aulas.

Além disso, a partir do estudo piloto, foi possível identificar algumas fragilidades técnicas na tecnologia desenvolvida. Desse modo, para a próxima fase, foram realizadas algumas melhorias na interface do aplicativo, incluindo uma tela inicial com algumas instruções de uso e botões indicadores para facilitar o manuseio do aplicativo.

Outro ponto a ser destacado com essa experiência é relacionado à gestão do tempo em cada atividade. A forma como as atividades foram preparadas não favoreceu o aproveitamento adequado do tempo em sala de aula. Como o LRA deve ser acessado apenas por um usuário por vez, foi pensado em disponibilizar duas atividades – incluindo uma que não precisasse do uso do LRA. A ideia aqui era possibilitar a rodízio no uso do laboratório, fazendo com que todos os grupos pudessem acessá-lo durante a aula. Entretanto, a atividade que não precisava do laboratório não foi suficiente para manter os alunos ocupados enquanto os demais grupos acessavam o LRA – o que resultou em um tempo ocioso.

Diante disso, é preciso pensar em algumas estratégias para minimizar este problema. Uma solução seria a melhor distribuição das tarefas entre as duas atividades. Uma vez que o LRA pode ser acessado em qualquer lugar, a qualquer hora, o professor pode estender essa atividade para fora da sala de aula, a incluindo como uma atividade extraclasse.

4.1.2 Percepções dos alunos do ensino médio técnico ao utilizar o laboratório remoto aumentado

Nesta etapa da pesquisa, o LRA foi utilizado como apoio para ensino de conceitos

básicos de eletricidade no curso técnico em Eletromecânica na disciplina de Eletrônica. O curso técnico em Eletromecânica é ofertado na modalidade concomitante ao ensino médio e a disciplina de Eletrônica é ministrada no 3º ano do ensino médio.

As atividades em sala de aula ocorreram em 2 aulas presenciais (1h50min) e uma atividade extraclasse. Nas aulas presenciais, os alunos instalaram o aplicativo móvel, acompanharam as orientações gerais do professor e iniciaram as suas atividades práticas.

O material para realização das atividades foi disponibilizado em formato impresso e digital por meio do ambiente virtual de aprendizagem da instituição. Esse material continha todas as orientações para instalação e uso do LRA, além do material pedagógico com três atividades.

A primeira atividade possuía uma breve revisão sobre o tema. Para que os alunos se familiarizassem com o Laboratório Remoto Aumentado, a segunda atividade era composta por duas questões, as quais os alunos precisavam responder com a ajuda do LRA. A primeira perguntava que tipo de associação era apresentada no circuito elétrico do LRA e, na segunda questão, os alunos precisavam alterar as configurações do circuito, fechando as chaves 1 e 4 e, a partir da observação do comportamento luminoso das lâmpadas e do comportamento da corrente elétrica demonstrada na RA, descrever o que estava acontecendo com o circuito elétrico.

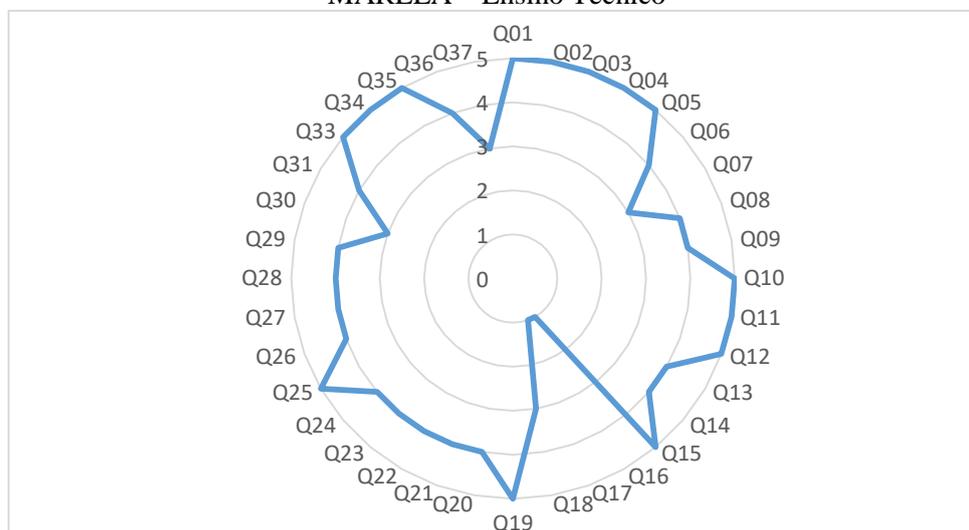
A terceira atividade era composta por 4 questões – que também precisavam ser respondidas a partir da realização do experimento no LRA – e deveria ser realizada como uma atividade extraclasse, em um período de uma semana. Esta alteração na organização das atividades deu-se a fim de minimizar os problemas encontrados no estudo anterior.

Para esta turma, foram utilizados dois instrumentos de coleta de dados: (i) o questionário MAREEA para a avaliação dos recursos tecnológicos, desenvolvido por Herpich et al. (2019), que foi respondido por 19 alunos; (ii) o “Teste para verificar se o respondente possui concepções científicas sobre corrente elétrica em circuitos simples”, desenvolvido por Silveira (2011), que contém questões referentes ao conteúdo explorado. Esta avaliação foi aplicada no início das atividades, como uma avaliação diagnóstica, e também ao fim das atividades, como uma avaliação conceitual, com intuito de identificar a progressão dos alunos no que se refere à compreensão do conteúdo explorado por meio do laboratório *online*. Nesse sentido, 26 alunos realizaram as duas avaliações – diagnóstica e conceitual. Portanto, estes foram considerados para a análise.

Com relação aos resultados obtidos pelo questionário MAREEA, assim como no estudo anterior, a maioria das respostas ficou entre 4 e 5, representando “4. Concordo Parcialmente” e “5. Concordo Totalmente”, demonstrando a percepção positiva dos alunos em relação ao uso de

LRA nos processos de ensino e aprendizagem. A Figura 31 apresenta a moda calculada (valor mais observado no conjunto de dados) para cada questão.

Figura 31 - Moda calculada para as frequências apresentadas para cada afirmativa do questionário MAREEA – Ensino Técnico



Fonte: Elaborada pela Autora.

Abaixo são apresentados alguns relatos dos alunos sobre sua experiência:

O aplicativo é algo útil para se entender as propostas técnicas das disciplinas do curso que envolvem eletricidade, e por ser um experimento virtual/digital não há riscos de acidentes, e você consegue entender como aquilo funciona mesmo sem tê-lo feito em forma de experimento físico (Aluno 7).

Gostei muito do aplicativo educacional de realidade aumentada, pois me ajudou a entender um pouco mais sobre os circuitos. Foi uma experiência muito boa e algo novo na sala de aula, e com certeza ajuda muito a explicar o que acontece em um circuito (Aluno 8).

Achei uma forma didática de aprender sobre as correntes elétricas (Aluno 19).

Entretanto, essa turma enfrentou alguns problemas ao utilizar o laboratório. Alguns *smartphones* apresentaram dificuldades para reconhecer o marcador de RA. Foi possível identificar que alguns *smartphones*, ao acessar a câmera fotográfica pelo aplicativo, apresentavam uma perda na qualidade do foco da lente, o que impedia o reconhecimento do marcador pelo aplicativo. Para contornar essa situação, o professor remanejou os grupos a fim de que cada grupo possuísse ao menos um *smartphone* que permitisse a utilização da ferramenta. Contudo, essa situação gerou uma certa frustração em alguns alunos que gostariam de realizar as atividades diretamente do seu celular. Como é apresentado nos relatos a seguir:

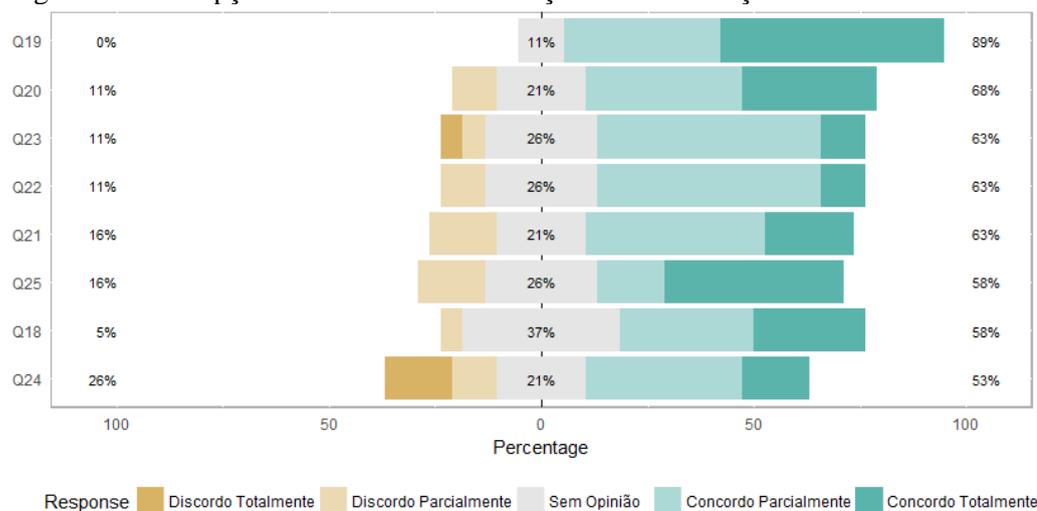
O aplicativo não possui uma sinergia com a câmera do celular. Como eu observei durante os testes, dependendo da câmera o aplicativo não foca deixando a câmera desfocada e fazendo assim o aplicativo inútil (Aluno 3).

Melhorar o aplicativo, extremamente difícil de focar utilizando a câmera do app, o que prejudica na hora de realizar os exercícios (Aluno 12).

A ideia é muito boa, o aplicativo tem ótimo uso educacional e tem grande potencial didático, porém, a interface poderia ser mais atraente. Um problema encontrado é a dificuldade do celular reconhecer a imagem, isso faz o usuário passar um bom trabalho para realizar a simulação (Aluno 16).

Esse problema refletiu na percepção dos estudantes em relação à sua motivação. O que no estudo anterior – com a turma do ensino superior – a maioria das respostas para essa dimensão ficou entre “concordo parcialmente” e “concordo totalmente” aqui recebeu muitas respostas apontando para “discordo parcialmente” e “discordo totalmente”. Destaca-se a questão “Q25. *Eu realmente gostei de estudar com este aplicativo de realidade aumentada*” – que obteve 100% de concordância na turma do ensino superior e que, na turma do ensino médio técnico, apresentou somente 58% de aceitação. Ainda assim, os índices de concordância foram maiores em relação aos níveis de discordância em todas as questões (Figura 32).

Figura 32 - Percepção dos estudantes em relação a sua motivação com o uso do LRA



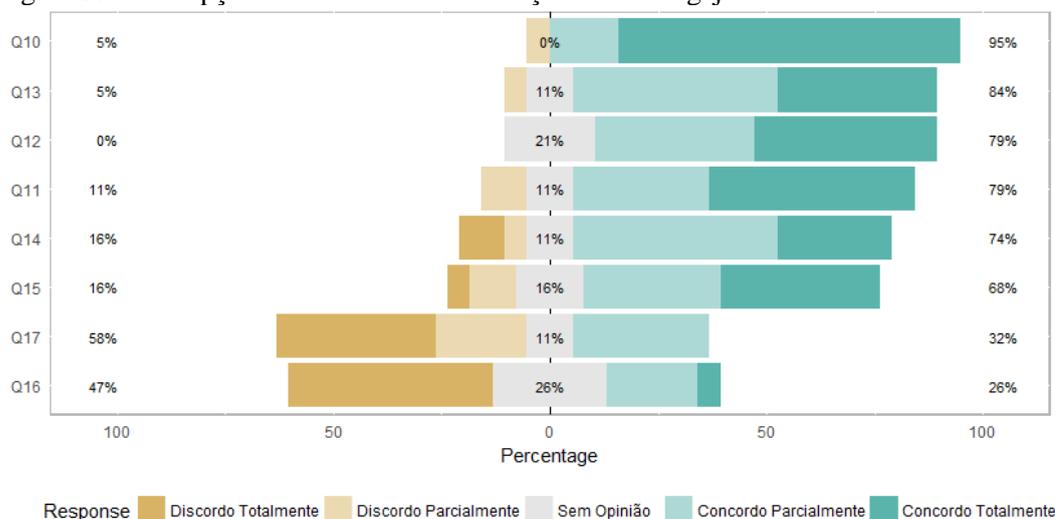
Fonte: Elaborada pela Autora.

Destaca-se ainda a questão “Q19. *Está claro para mim como o conteúdo educacional deste aplicativo de realidade aumentada está relacionado às coisas que conheço*”, que apresentou o maior índice de concordância (89%). Essa questão também se destacou nas respostas da turma do ensino superior – o que demonstra que o conteúdo é apresentado de forma significativa, estabelecendo conexão do tema abordado com experiências anteriores dos alunos.

Em relação à dimensão de engajamento, os alunos apresentam uma postura mais positiva com o uso do LRA em sala de aula (Figura 33). Seguem as questões Q10, Q12 e Q13 e seus percentuais:

- “Q10. O conteúdo educacional deste aplicativo de realidade aumentada vale a pena” apresentou 79% de concordância total e 16% de concordância parcial.
- “Q12. Eu me senti envolvido nas tarefas deste aplicativo de realidade aumentada” obteve 42% de concordância total e 37% de concordância parcial.
- “Q13. A experiência de aprendizagem com este aplicativo de realidade aumentada foi divertida” apresentou 37% de concordância total e 47% de concordância parcial.

Figura 33 - Percepção dos estudantes em relação ao seu engajamento com o uso do LRA

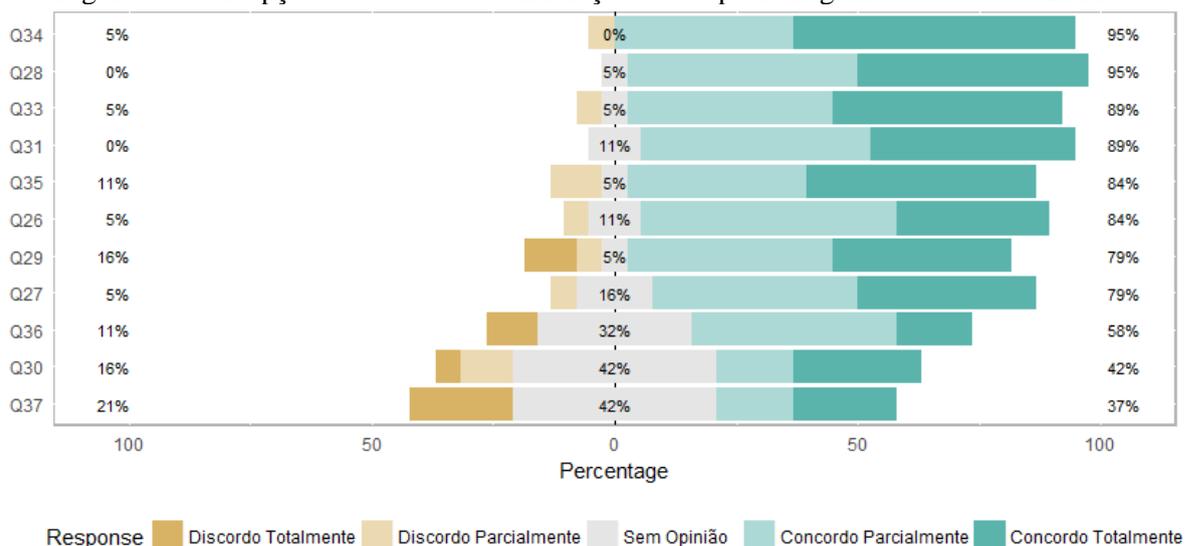


Fonte: Elaborada pela Autora.

Entretanto, os alunos não se sentiram totalmente envolvidos com a atividade de aprendizagem, conforme demonstram as respostas às questões: “Q16. Eu estava tão envolvido na tarefa com este aplicativo de realidade aumentada que perdi a noção do tempo” e “Q17. Eu ignorei as coisas ao meu redor quando eu estava usando este aplicativo de realidade aumentada”. Estas questões obtiveram os maiores índices de discordância – totalizando 47% e 58%, respectivamente.

Contudo, os estudantes reconheceram que o LRA representa ganho em seu processo de aprendizagem (Figura 34). Para eles, as experiências no LRA foram apropriadas (Q34) e úteis (Q28) para o seu aprendizado, além de permitir interagir com fenômenos que dificilmente realizariam no mundo real (Q33).

Figura 34 - Percepção dos estudantes em relação a sua aprendizagem com o uso do LRA



Fonte: Elaborada pela Autora.

Outras questões que se destacam nessa dimensão são:

- “Q35. As experiências neste aplicativo de realidade aumentada são úteis para praticar os casos da vida real antes de realizá-las no laboratório real” apresentou 37% de concordância parcial e 47% de concordância total.
- “Q26. Este aplicativo de realidade aumentada me permitiu compreender melhor o conteúdo educacional” apresentou 53% de concordância parcial e 31% de concordância total.

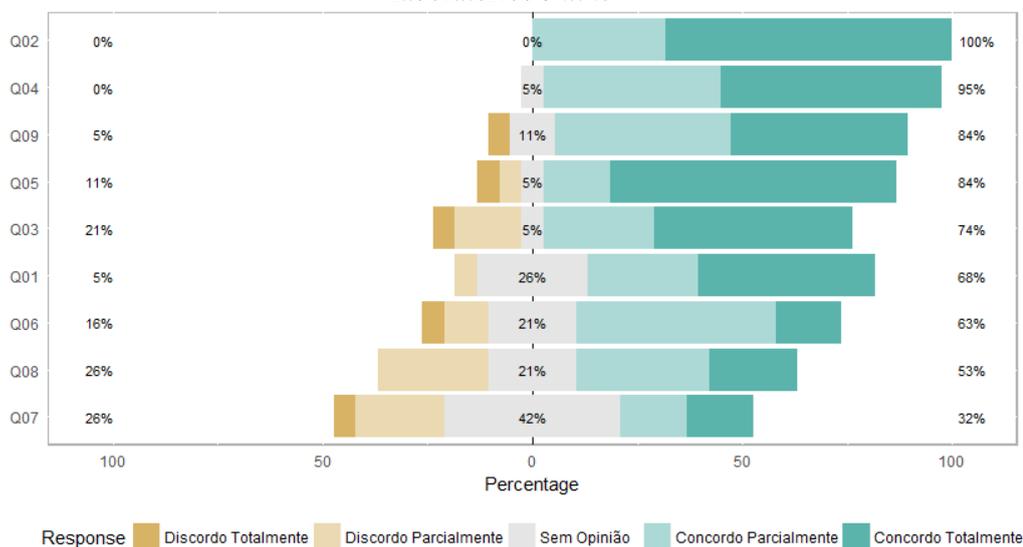
Apesar de os alunos reconhecerem que o LRA é positivo para a aprendizagem, a questão “Q37. Eu gosto de usar este aplicativo de realidade aumentada no meu treinamento prático” obteve 42% de alunos que preferiram não opinar e 21% que discordaram totalmente. Possivelmente, este índice se deu devido aos problemas que alguns alunos enfrentaram ao utilizar o laboratório pelos seus smartphones.

Em relação à usabilidade, os alunos concordaram que a forma de usar o aplicativo é de fácil entendimento (Q4) e que foi simples aprender utilizá-lo (Q2). Entretanto, ao serem questionados se o aplicativo é fácil de usar (Q3), 5% dos estudantes discordaram dessa afirmação e 21% preferiram não opinar. Vale destacar que esta questão obteve 100% de concordância com a turma do ensino superior. Desse modo, evidencia-se que, apesar de o aplicativo ser de fácil utilização, as dificuldades no reconhecimento dos marcadores tornaram mais difícil a sua utilização.

A questão referente à interface do aplicativo apresentou índices levemente melhores que a turma anterior (Q8), com 53% de concordância; e a questão sobre o design (cor, estilo de fonte

e tamanho) (Q5) obteve 84% de concordância. O que pode ser resultado das alterações realizadas no aplicativo para essa segunda aplicação.

Figura 35 - Percepção dos estudantes do ensino técnico em relação a usabilidade com o uso dos laboratórios *online*



Fonte: Elaborada pela Autora.

A partir deste ponto serão apresentados os resultados da segunda parte da coleta de dados, das avaliações diagnóstica e conceitual. Com esses dados, foi possível, ainda que de forma preliminar, realizar algumas análises em relação à progressão dos alunos no que se refere à compreensão do conteúdo explorado por o apoio do LRA. Vale ressaltar que o tamanho da amostra representa uma limitação deste estudo. Contudo, essa análise atende aos objetivos propostos para esta fase da pesquisa – que não se destina a chegar a conclusões, e sim realizar um estudo exploratório sobre os possíveis potenciais dessas tecnologias para o apoio a aprendizagem.

Diante disso, foi traçada uma média geral sobre o aproveitamento dos alunos: a média inicial referente à Avaliação Diagnóstica (AD) foi de 3,11; já na Avaliação Conceitual (AC) os alunos obtiveram uma média de 4,30 (Tabela 12). Aplicando o Teste *t* de *Student*, pode-se afirmar que o resultado obtido foi significativo estatisticamente, uma vez que *p* apresentou valor de 0,001 ($\alpha = 0,05$).

Tabela 12 - Médias e valores do teste *t* de *Student* para as avaliações diagnóstica e conceitual

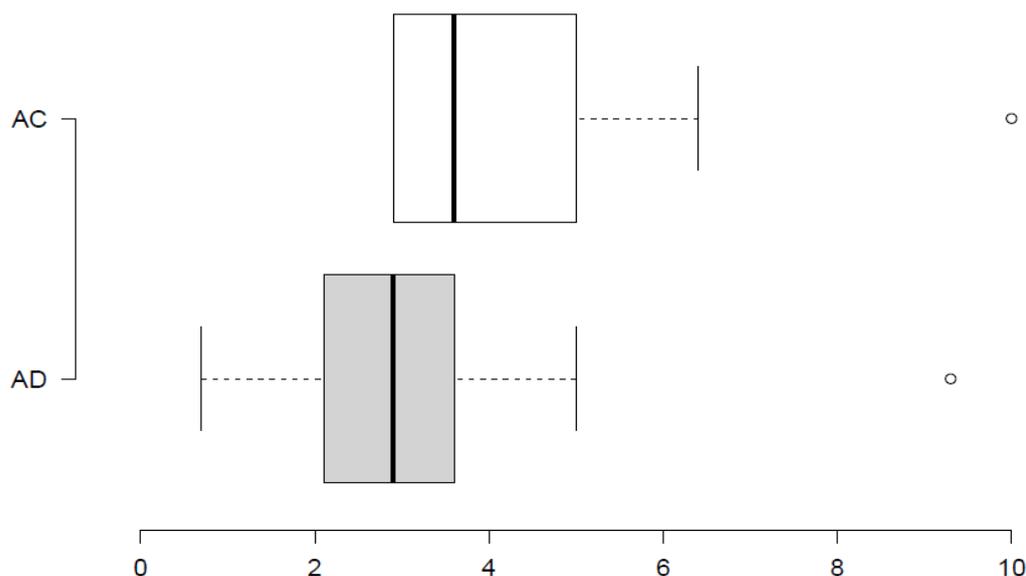
μ AD	Desvio padrão AD	μ AC	Desvio padrão AC	Valor de <i>t</i>	Valor de <i>p</i>
3,11	1,64	4,30	1,58	3,751	0,001

*Nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$)

Fonte: Elaborada pela Autora.

Por meio do gráfico *boxplot*, representado pela Figura 36, é possível analisar detalhadamente os dados. Assim, percebe-se que, na avaliação diagnóstica, o aproveitamento da turma ficou entre 0,7 e 5,0, com uma distribuição mais concentrada e simétrica que aquelas da avaliação conceitual – além de um menor valor mediano (2,9) (Tabela 13). Por outro lado, as notas da AC ficaram entre 2,9 e 6,4, e apontam um maior valor mediano (3,6), com uma distribuição menos concentrada que a avaliação diagnóstica.

Figura 36 - Boxplot das notas obtidas pelos alunos nas avaliações diagnóstica e conceitual



*As linhas centrais mostram as medianas; os limites da caixa indicam os percentis 25 e 75, conforme determinado pelo *software R*; os traços estendem 1,5 vezes a faixa interquartil dos percentis 25 e 75, os valores extremos são representados por pontos. $n = 26$ pontos de amostra.

Fonte: Elaborada pela Autora.

Tabela 13 - Estatísticas do gráfico Boxplot (Figura 36)

	Avaliação Diagnóstica - AD	Avaliação Conceitual - AC
Máximo	5.00	6.40
3º quartil	3.60	5.00
Mediana	2.90	3.60
1º quartil	2.10	2.90
Mínimo	0.70	2.90
Nº pontos da amostra	26	26

Fonte: Elaborada pela Autora.

Evidencia-se ainda que a avaliação conceitual tem a mediana mais próxima do primeiro quartil, o que identifica que os dados são positivamente assimétricos. Desse modo, verifica-se que a turma obteve um progresso na compreensão do conteúdo explorado – a maioria das notas ficou acima das notas mais altas da avaliação diagnóstica. Entretanto, vale ressaltar que, em ambas avaliações, os alunos não obtiveram notas muito altas, bem como alguns alunos não

apresentaram progressão entre AD e AC. É importante destacar que esse conteúdo já havia sido explorado naquele semestre e os laboratórios foram utilizados para uma revisão de conteúdo.

Com este estudo, foi possível validar o recurso tecnológico desenvolvido, além de gerar uma valiosa experiência em termos de *design* de conteúdo educacional e requisitos técnicos para a implementação de laboratórios remotos aumentados.

Em ambas as turmas, percebeu-se uma atitude positiva dos estudantes com a utilização dos laboratórios *online* em sala de aula. Esses resultados corroboram com os resultados obtidos por outros pesquisadores – tais como Odeh, Shanab e Anabtawi (2015), Rodriguez-Gil et al (2017) e Andújar Mejías e Marquez (2011) – visto que os alunos sinalizaram para o uso dessas tecnologias como de fácil utilização e entendimento e se sentiram motivados a realizar as atividades propostas.

No entanto, ficou claro que com a turma do ensino médio os problemas técnicos afetaram na motivação e no engajamento dos alunos durante a realização das atividades. Com isso, para a continuidade da pesquisa, o aplicativo precisou passar por novas reformulações, melhorando o desempenho e o *design* gráfico.

Em relação à organização das atividades, incluindo uma atividade extraclasse, pareceu uma boa estratégia para superar a limitação dos laboratórios remotos, que permitem o acesso apenas por um usuário em cada momento. Uma pequena atividade em aula para os alunos conhecerem e tirarem suas dúvidas sobre o manuseio dos laboratórios foi suficiente para que pudessem terminar suas atividades em casa. Por fim, destaca-se que o primeiro estudo apresentou resultados animadores, mesmo que preliminares; foi possível observar a progressão dos alunos na compreensão de saberes depois das atividades envolvendo os laboratórios *online*.

4.2 Segundo estudo: avaliação pedagógica do Laboratório Remoto Aumentado

O objetivo deste estudo foi conhecer como professores em formação percebem o uso de um Laboratório Remoto Aumentado para o ensino de circuitos elétricos, quanto aos aspectos pedagógicos, sua relevância para o ensino de Ciências e a usabilidade do aplicativo.

Desse modo, este estudo procurou responder a seguinte questão de pesquisa: *Como professores em formação percebem a utilização de um Laboratório Remoto Aumentado no ensino de circuitos elétricos, quanto aos aspectos pedagógicos, sua relevância para o ensino de Ciências e a usabilidade da ferramenta?*

Para isso, um estudo de caso exploratório, qualitativo, foi realizado junto a professores em formação do curso de Licenciatura em Ciências da Natureza do IFRS, a fim de investigar a

percepção desses profissionais após o uso do recurso. Abaixo, são apresentadas as questões norteadoras do estudo.

1. Quais aspectos pedagógicos estão relacionados ao uso do Laboratório Remoto Aumentado no Ensino de Ciências?
2. Como professores em formação percebem a utilização do Laboratório Remoto Aumentado no Ensino de Ciências?
3. Qual a opinião dos professores em formação sobre os aspectos de usabilidade do Laboratório Remoto Aumentado no Ensino de Ciências?

Para responder tais questões, foi utilizado o modelo de “Avaliação de qualidade de *software* educacional para Ensino de Ciências”, denominado PECTUS, desenvolvido por Rezende (2013). O modelo possibilitou mensurar a qualidade percebida do recurso educacional nos requisitos relacionados aos aspectos pedagógicos, ensino de Ciências e usabilidade. Os participantes da pesquisa responderam a 30 itens, dispostos em uma escala Likert de 5 pontos. Conforme Rezende (2013), cada ponto pré-definido na escala está associado a um valor (0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10) e que, para responder cada questão, o sujeito da pesquisa deve levar em conta os adjetivos alocados aos extremos da escala (0 = “não atende nada” e 10 = “atende plenamente”). Os *softwares* que obtiverem média entre 0,00 e 2,50 devem ser considerados de “Baixíssima Qualidade”; bem como aqueles com médias de 2,51 a 4,90 são de “Baixa Qualidade”; de 4,91 a 7,40 são de “Boa Qualidade”, e; de 7,41 a 10,00 são de “Alta Qualidade”.

4.2.1 Avaliação pedagógica do Laboratório Remoto Aumentado por futuros professores

O Laboratório Remoto Aumentado para o ensino de circuitos elétricos foi avaliado por 13 professores em formação com objetivo de identificar o nível de qualidade quanto aos aspectos pedagógicos, sua relevância para o ensino de Ciências e a usabilidade. A Tabela 14 apresenta a avaliação geral do recurso tecnológico, bem como para cada aspecto investigado. Como pode ser observado, o LRA Painel Elétrico CA foi avaliado como de “Alta Qualidade”, obtendo média de 8,41 (DP 1,88) na avaliação geral. O aspecto que recebeu a menor nota foi “Usabilidade”, com média de 8,21 (DP 2,13). No geral, o desvio padrão para este caso foi considerado normal, não havendo demasiadas dispersões em algum atributo.

Tabela 14 - Avaliação dos aspectos de pedagogia, relevância e usabilidade do Painel Elétrico CA Aumentado

Requisitos	Média (M)	Desvio Padrão (DP)
Aspectos Pedagógicos	8,42	1,80
Ensino de Ciências	8,43	1,71
Usabilidade	8,21	2,13
Total da avaliação	8,41	1,88

Fonte: Elaborada pela Autora.

A fim de responder à Questão de Pesquisa 1, sobre os aspectos da pedagogia relacionados ao uso do LRA Painel Elétrico CA pelos professores em formação, foram avaliados 10 atributos de qualidade de *software* educacional no Ensino de Ciências: Afetividade, Flexibilidade, Carga Cognitiva, Confiabilidade Conceitual, Suporte à Colaboração, Objetividade, Apoio ao Professor, Controle por parte do Estudante, Motivação e Acomodação das Diferenças Individuais. Cada um destes atributos é apresentado na Tabela 15, juntamente com os valores das avaliações realizadas pelos participantes da pesquisa.

Tabela 15 - Avaliação dos aspectos de pedagogia do LRA Painel Elétrico CA

	Questões	Min	Max	Méd	DP
Q1	Afetividade - Refere-se à explicitação de aspectos e comportamentos físicos e psicológicos, capazes de indicar o envolvimento do usuário, quando ele utiliza o <i>software</i> , tais como: emoção, estados de humor, motivação, ansiedade, sentimentos de raiva, desinteresse, prazer, alegria, etc.	5,0	10,0	8,08	1,81
Q2	Flexibilidade - Refere-se à capacidade que o <i>software</i> tem de ser flexível e acomodar diferentes estilos individuais de ensino e aprendizagem, tais como: autoaprendizagem, objetivismo, construtivismo, etc.	2,5	10,0	8,46	2,17
Q3	Carga Cognitiva - Refere-se ao esforço mental requerido durante a execução das tarefas no <i>software</i> , como exploração dos conteúdos, uso da estrutura, respostas demandadas, etc.	2,5	10,0	8,08	2,08
Q4	Confiabilidade Conceitual - Refere-se à capacidade do <i>software</i> em despertar reações e comportamentos que expressam confiança nos seus conteúdos e resultados por ele propiciados.	7,5	10,0	9,23	1,20
Q5	Suporte à Colaboração - Refere-se ao apoio fornecido pelo <i>software</i> à realização de atividades de forma colaborativa, apoiando o compartilhamento de conhecimento e o desenvolvimento de habilidades sociais.	5,0	10,0	8,27	1,88
Q6	Objetividade - Refere-se à forma de funcionamento do <i>software</i> e dos procedimentos nele incorporados, ou seja, os quão bem definidos e padronizados eles são.	5,0	10,0	8,85	1,65
Q7	Apoio à Professores - Refere-se ao nível de apoio que o <i>software</i> oferece ao professor, que lhe permitirá atuar como provedor de informações e/ou de facilitador da aprendizagem.	5,0	10,0	8,85	1,65
Q8	Controle por parte do Estudante - Refere-se à possibilidade oferecida pelo <i>software</i> aos usuários, para este definir como explorar os módulos e conteúdos, ou seja, decidir que seções estudar, que caminhos seguir, que material utilizar e a ordem envolvida nessas decisões.	2,5	10,0	7,50	2,04
Q9	Motivação - Refere-se à capacidade de <i>software</i> em, por si só, motivar os usuários a explorar temas e conceitos, por meio de elementos como recursos multimídia, interação de boa qualidade, etc.	7,5	10,0	8,46	1,27
Q10	Acomodação das Diferenças Individuais - Refere-se à capacidade do <i>software</i> em considerar e facilitar a acomodação de diferenças individuais dos estudantes, ou seja, reforça a heterogeneidade em termos de atitudes, conhecimento e experiência anteriores, estilos de aprendizagem, etc.	5,0	10,0	8,46	1,92

Fonte: adaptado de Rezende (2013).

A avaliação dos “Aspectos de Pedagogia” obteve a pontuação média de 8,42. Este valor caracteriza o recurso tecnológico positivamente para esse requisito. Os respondentes reconhecem um alto grau de confiabilidade conceitual (média 9,23) e objetividade (média 8,85), além de ser uma ótima ferramenta de apoio aos professores (média 8,85). Além disso, para os futuros professores, o recurso desenvolvido pode contribuir para a motivação dos estudantes ao aprender (média 8,46). Nesse sentido, diferentes estudos destacam a motivação como o

principal benefício da RA no ensino (ALTMAYER et al., 2020; LAINUFAR; JOHAR, 2020; SÁEZ-LÓPEZ et al., 2020; THEES et al., 2020). Sáez-López et al. (2020) afirmam que a RA promove entusiasmo por parte dos alunos que leva a vantagens significativas na aprendizagem – principalmente em relação à motivação.

Quando perguntados sobre a carga cognitiva do recurso tecnológico, as respostas ficaram, em média, como “Atende plenamente” – ficando esse requisito com 8,08; entretanto, as respostas obtiveram um desvio padrão um pouco mais alto, de 2,08, e nota mínima de 2,5. Esse item refere-se ao esforço mental requerido durante a execução das tarefas no *software* – como exploração dos conteúdos, uso da estrutura, respostas demandadas, etc.

Alguns estudos relacionam positivamente o uso da RA com a redução da carga cognitiva. Thees et al. (2020) afirmam que a RA, por permitir a integração de objetos virtuais e reais, pode contribuir principalmente para os princípios de contiguidade temporal e espacial, destacada por Mayer e Moreno (2003) na Teoria de Aprendizagem Multimídia. Entretanto, a utilização em conjunto de duas tecnologias não muito conhecidas dos participantes (Laboratório Remoto e Realidade Aumentada) pode ter requerido demasiado esforço mental durante a exploração dos conteúdos neles apresentados.

O requisito “controle por parte do estudante” obteve a menor média (7,50) referente aos aspectos pedagógicos, o que significa que o aplicativo não facilita a livre exploração de módulos e conteúdos; ou seja, não permite que o aluno possa decidir que caminho seguir na hora de aprender. De fato, o LRA Painel Elétrico CA tem um objetivo bem específico e não possui alternativas diversificadas para explorar o conteúdo. Talvez, para uma segunda versão, seria interessante incluir novos módulos e incorporar recursos diversificados que permitam que os alunos decidam como melhor utilizar os materiais expostos.

Para responder a Questão de Pesquisa 2, sobre a dimensão envolvendo os aspectos de Ensino de Ciências, 10 atributos de qualidade de *software* foram avaliados pelos professores em formação: Apoio à Construção de Conceitos, Suporte para a Aplicação de Conceitos, Apoio a Aprendizagem Evolutiva, Suporte Empírico, Associação entre Teoria e o Mundo Real, Apoio à Representação de Teoria e Conceitos, Precisão dos Cálculos e Resultados, Rigor Científico, Clareza dos Procedimentos e Suporte para a Resolução de Problemas. Cada um destes atributos é definido na Tabela 16, sendo apresentados os valores obtidos das respostas dos participantes.

Tabela 16 - Avaliação dos aspectos de ensino de Ciência do LRA Painel Elétrico CA

	Questões	Min	Max	Méd.	DP
Q11	Apoio à Construção de Conceitos - Refere-se à construção de conceitos abstratos em conceitos mais concretos. Acentua a formação dos conceitos e promove a mudança conceitual.	5,0	10,0	8,27	1,58
Q12	Suporte para a Aplicação de Conceitos - Refere-se à aplicação simplificada da realidade, tornando os conceitos abstratos em seus elementos mais importantes.	7,5	10,0	8,65	1,30
Q13	Apoio a Aprendizagem Evolutiva - Refere-se à aprendizagem crescente que auxilia na compreensão dos conceitos desde estágios mais simples até os fenômenos mais complexos.	5,0	10,0	8,27	1,58
Q14	Suporte Empírico - Refere-se às atividades que deixam explícito a natureza da pesquisa científica e suas teorias.	5,0	10,0	8,08	1,81
Q15	Associação entre Teoria e o Mundo Real - Refere-se à compreensão sobre o mundo natural real, interagindo com modelos científicos subjacentes que não poderiam ser inferidos através da observação direta.	5,0	10,0	8,46	1,92
Q16	Apoio à Representação de Teoria e Conceitos - Refere-se às informações visuais como fórmulas, resultados, modelos 3D e um feedback para aperfeiçoar a compreensão de conceitos.	2,5	10,0	8,65	2,19
Q17	Precisão dos Cálculos e Resultados - Refere-se à coleta, geração e teste de grandes quantidades de dados que comprovem a hipótese.	5,0	10,0	8,27	2,14
Q18	Rigor Científico - Refere-se à identificação e relação entre causas e efeitos entre os “sistemas complexos”, comprovados com critérios de natureza científica.	7,5	10,0	9,04	1,27
Q19	Clareza dos Procedimentos - Refere-se à redução de “ruído” cognitivo de modo que os estudantes possam através de comandos simples de maneira a permitir se concentrarem nos conceitos envolvidos.	5,0	10,0	8,85	1,65
Q20	Suporte para a Resolução de Problemas - Refere-se ao suporte à promoção de habilidades para a resolução de problemas e promover o raciocínio crítico e analítico.	5,0	10,0	7,89	1,72

Fonte: adaptado de Rezende (2013).

Em relação aos resultados sobre o Ensino de Ciências, é possível observar que a média global da avaliação da dimensão foi de 8,43. Todos os atributos desse requisito foram reconhecidos pelos professores em formação no aplicativo. Alguns aspectos se destacaram, como “Rigor Científico” (média 9,04) e “Suporte para a Aplicação de Conceitos” (média 8,65). Isso significa que o recurso apresenta relação entre causas e efeitos entre os “sistemas complexos” ao mesmo tempo em que contribui para a aplicação simplificada da realidade, tornando os conceitos abstratos em seus elementos mais importantes.

Nesse sentido, a principal vantagem dos Laboratórios Remotos é a possibilidade de interação direta com equipamentos reais e, com isso, obter informações reais, mesmo que de forma *online*, permitindo, assim, uma análise de problemas práticos do mundo real (RODRIGUEZ-GIL et al., 2017). Cassini e Prattichizo (2003) afirmam que a possibilidade de interagir com processos reais permite a descoberta de novos resultados já que o utilizador

precisa calibrar as máquinas e os equipamentos com seus próprios dados.

Os professores em formação consideraram o suporte para a resolução de problemas relativamente baixo (média 7,89); esse requisito refere-se ao suporte à promoção de habilidades para a resolução de problemas e à promoção do raciocínio crítico e analítico.

Em relação à avaliação da dimensão “Aspectos de Usabilidade”, 10 atributos de qualidade de *software* educacional foram avaliados pelos futuros professores, sendo eles: Adequação de *Software*, Facilidade de Aprendizagem, Operacionalidade, Suporte à Memorização, Proteção aos Erros, Clareza das Informações, Acessibilidade, Qualidade do Design, Satisfação do Usuário e Funcionalidade Geral. Cada um destes atributos é definido na Tabela 17, apresentando os valores calculados das respostas dos professores em formação.

Tabela 17 - Avaliação dos aspectos de usabilidade do LRA Painel Elétrico CA

	Questões	Min	Max	Méd.	DP
Q21	Adequação do <i>Software</i> - Refere-se à capacidade que o <i>software</i> tem de possibilitar ao usuário compreender se ele (<i>software</i>) é apropriado para as suas tarefas (do usuário).	2,5	10,0	8,08	2,32
Q22	Facilidade de Aprendizagem - Refere-se à facilidade oferecida pelo <i>software</i> para que o usuário aprenda a explorar e utilizar os diferentes módulos e atividades incluídos.	1,0	10,0	7,77	2,76
Q23	Operacionalidade - Refere-se à capacidade que o <i>software</i> possui de tornar a sua utilização fácil para os usuários.	1,0	10,0	8,35	2,53
Q24	Suporte à Memorização - Refere-se às características (padronização de telas, navegação, <i>design</i> , etc.) que facilitem ao usuário a memorização dos caminhos e procedimentos de interação para uso adequado do <i>software</i> .	5,0	10,0	7,89	2,00
Q25	Proteção aos Erros do Usuário - Refere-se às características que o <i>software</i> possui para proteger o usuário de cometer possíveis erros.	5,0	10,0	7,69	2,16
Q26	Clareza das Informações - Está relacionada a se a informação contida no espaço de conhecimento incorporado no <i>software</i> é apresentada de maneira entendível.	5,0	10,0	8,65	1,65
Q27	Acessibilidade - Refere-se à capacidade do <i>software</i> de ser usado por pessoas com diferentes perfis e características, em um contexto específico ligado aos objetivos do sistema.	2,5	10,0	7,50	2,28
Q28	Qualidade do Design - Compreende aspectos como aparência e disposição dos elementos nas telas do <i>software</i> , incluindo texto, ícones, gráficos, cores, etc.	5,0	10,0	8,46	2,17
Q29	Satisfação do Usuário - Representa uma condição subjetiva, segundo a qual o usuário considera a interação com a aplicação agradável e atrativa, sentindo-se satisfeito com o <i>software</i> .	5,0	10,0	8,65	2,19
Q30	Funcionalidade Geral - Representa uma dimensão abrangente, relacionada à utilidade do <i>software</i> e atendimento dos objetivos pretendidos pelos usuários.	7,5	10,0	9,04	1,27

Fonte: adaptado de Rezende (2013).

A avaliação dos “Aspectos de Usabilidade” obteve a pontuação média de 8,21 pontos; portanto, os avaliadores referem-se ao *software* como de qualidade. Sua funcionalidade geral foi avaliada positivamente (9,04), sendo considerado um *software* útil para aprender e que atende aos objetivos pretendidos pelos usuários. Nesse sentido, Herpich (2019) afirma que o engajamento e impacto no desempenho nas atividades educacionais dos estudantes estão relacionados diretamente ao quanto eles entendem que o recurso educacional de RA é apropriado para a aprendizagem.

O aplicativo obteve bom resultado quanto à satisfação do usuário (8,65); ou seja, os avaliadores consideraram a interação com a aplicação agradável e atrativa, sentindo-se satisfeitos com o *software*. O design do aplicativo foi considerado relativamente interessante (8,46), apesar de ser considerado não tão fácil de utilizar (7,77). As informações apresentadas foram consideradas claras (8,65); contudo, a acessibilidade do aplicativo não foi tão bem avaliada (7,50), bem como a proteção contra os erros do usuário (7,69). O resultado mais baixo deste item pode estar relacionado à não execução de algum recurso e/ou na dificuldade de reconhecimento do marcador, circunstâncias observadas em situações específicas na interação dos usuários.

A partir dos resultados obtidos, foi possível constatar a utilidade e a adequação do Laboratório Remoto Aumentado aos objetivos de aprendizagem propostos. Quanto aos aspectos pedagógicos, destacam-se a alta confiabilidade conceitual e a objetividade do LRA, além do recurso oferecer um bom apoio aos professores na hora de ensinar. Com relação ao Ensino de Ciências, os professores em formação caracterizam o laboratório, principalmente, como uma ferramenta que apoia a representação teórica e conceitual, bem como mantém o rigor científico necessário. Por fim, quanto aos aspectos de usabilidade, o LRA foi caracterizado como adequado, possuindo qualidade de design e clareza nas informações apresentadas; contudo, existem oportunidades de melhoria – principalmente na interface e na prevenção de erros.

Por fim, é importante destacar a importância que esse tipo de recurso tecnológico vem apresentando no atual cenário educacional. A pandemia da COVID-19 forçou educadores de todo mundo a reinventar aulas, tendo que aproveitar meios alternativos para levar conhecimento até seus alunos (HODGES et al., 2020). Nesse contexto, os laboratórios *online* oferecem meios de ensinar, apoiar e motivar os alunos em um novo ambiente de aprendizado remoto.

4.3 Terceiro estudo: uso do Laboratório Remoto Aumentado no ERE

O objetivo do terceiro estudo consiste em verificar se o Laboratório Remoto Aumentado

desenvolvido é capaz de motivar os estudantes na aquisição de conhecimentos em Física durante o período de isolamento social imposto pela pandemia da Covid-19. Para isso, o LRA foi utilizado por estudantes para o ensino de conceitos básicos de eletricidade. A partir desta pesquisa, foi possível identificar os níveis motivacionais dos estudantes referente a atenção, relevância, satisfação e confiança.

O LRA foi utilizado por 54 estudantes como apoio para ensino de conceitos básicos de eletricidade na disciplina de Eletricidade Básica, no curso técnico em Eletromecânica do Instituto Federal de Santa Catarina, campus Araranguá. O curso técnico em Eletromecânica é ofertado simultaneamente ao ensino médio – a disciplina de Eletricidade Básica é ministrada no 3º ano do ensino médio – e tem como o objetivo trabalhar os conceitos referentes a tensão elétrica, corrente elétrica e potência elétrica, bem como promover a análise do comportamento destas três grandezas elétricas. A disciplina foi ministrada durante o período da pandemia da Covid-19, entre os meses de março e junho de 2020; portanto, foi realizada na modalidade de Ensino Remoto Emergencial. Os alunos possuíam idades entre 14 e 17 anos.

As aplicações em sala de aula ocorreram de 10 de março a 14 de abril de 2020. Iniciou-se com uma aula presencial, quando ainda era possível (o governo do estado de Santa Catarina determinou o fechamento das escolas no dia 16 de março). Nessa aula, o professor demonstrou o laboratório remoto para os alunos e eles tiveram a oportunidade de explorar o laboratório para verificar o seu funcionamento, as características e o comportamento das lâmpadas.

Em seguida, já no contexto do ensino remoto emergencial, ocorreram dois encontros virtuais com aulas expositivas sobre os conceitos de tensão e de corrente elétrica, e os alunos utilizaram o laboratório remoto com o objetivo de responder questões sobre os conceitos estudados. Por fim, o Laboratório Remoto Aumentado foi utilizado para a exploração do comportamento das grandezas, elucidadas pela realidade aumentada. Os alunos tiveram o LRA à disposição durante uma semana, podendo realizar a experimentação quantas vezes fossem necessárias; além disso, ocorreram quatro encontros virtuais com interações com o LRA para esclarecimento de dúvidas.

Após o uso do recurso educacional em LRA, foi investigada a motivação percebida dos estudantes em aprender com a ajuda da ferramenta. Para isso, foi adotado o instrumento de coleta de dados *Instructional Materials Motivation Survey* (IMMS), a fim de medir o nível de motivação dos estudantes (HUANG et al., 2006), (KELLER, 2009). O questionário foi respondido por 23 estudantes.

4.3.1 Motivação dos alunos do ensino médio técnico para utilizar o laboratório remoto aumentado no ERE

A partir da aplicação do questionário IMMS, foi possível identificar os valores médios e desvios padrão de cada um dos aspectos motivacionais (*atenção, relevância, satisfação e confiança*) percebidos pelos estudantes, como é apresentado na Tabela 18.

Tabela 18 - Valores médios e desvio padrão de cada aspecto avaliado por meio do questionário IMMS

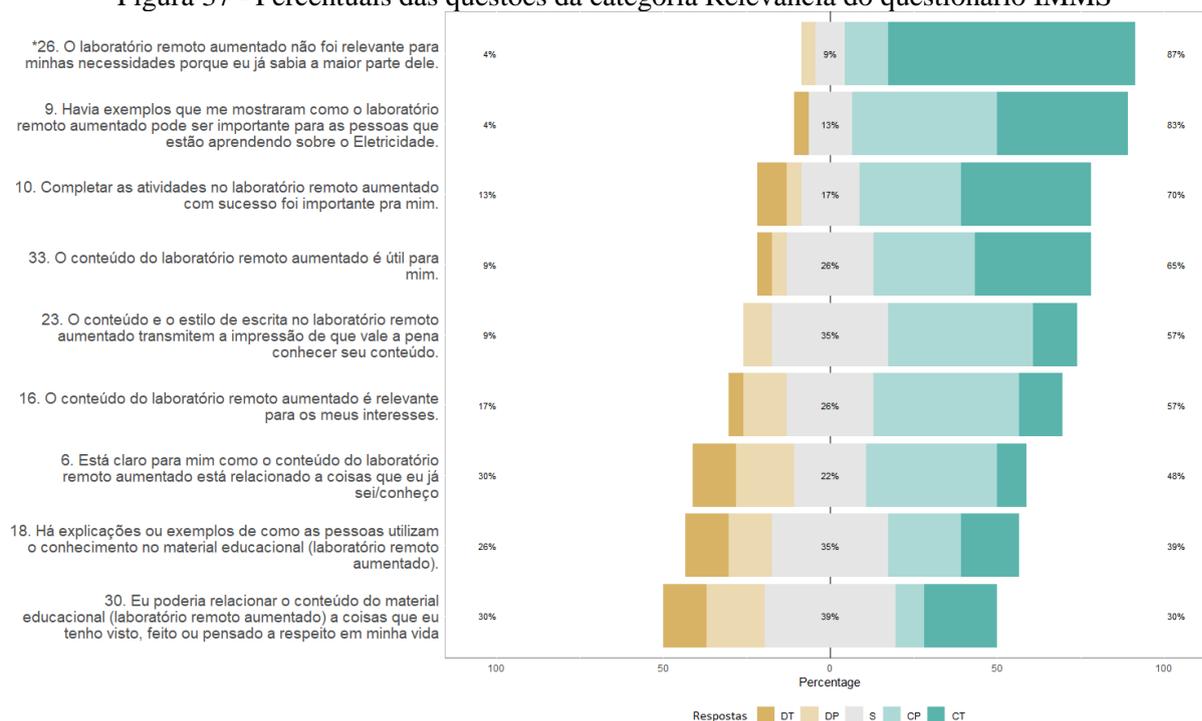
Categoria	Média	Desvio Padrão
Atenção	3,48	1,07
Relevância	3,66	1,09
Confiança	2,88	1,11
Satisfação	3,48	1,16

Fonte: Elaborada pela Autora.

As categorias *atenção* (3,48), *relevância* (3,66) e *satisfação* (3,48) apresentaram tendências positivas. Esses indicadores corroboram com resultados de estudos (ACOSTA et al., 2019; CHIN; LEE; CHEN, 2019; GARZÓN et al., 2020) que afirmam que as aplicações baseadas em RA têm potencial para promover níveis elevados de motivação.

O aspecto *relevância* obteve o maior escore médio ($\bar{x} = 3,66$, $\sigma = 1,09$). As questões sobre relevância estão relacionadas a quanto o conteúdo se alinha com os objetivos de aprendizagem, necessidades pessoais e experiências anteriores dos alunos (KELLER; SUZUKI, 2004). Com isso, a questão referente ao LRA ser relevante para suas necessidades educacionais, pois se tratavam de conhecimentos novos (questionamento 26), obteve o maior percentual de aceitação (87% de concordância). A questão “9. *Havia exemplos que me mostraram como o laboratório remoto aumentado pode ser importante para as pessoas que estão aprendendo sobre o Eletricidade*” também se destaca, apresentando 83% de concordância. A Figura 37 apresenta os percentuais obtidos em cada uma das questões pesquisadas na categoria relevância.

Figura 37 - Percentuais das questões da categoria Relevância do questionário IMMS



* No IMMS, as questões formuladas negativamente recebem valores reversos (de 5 a 1).

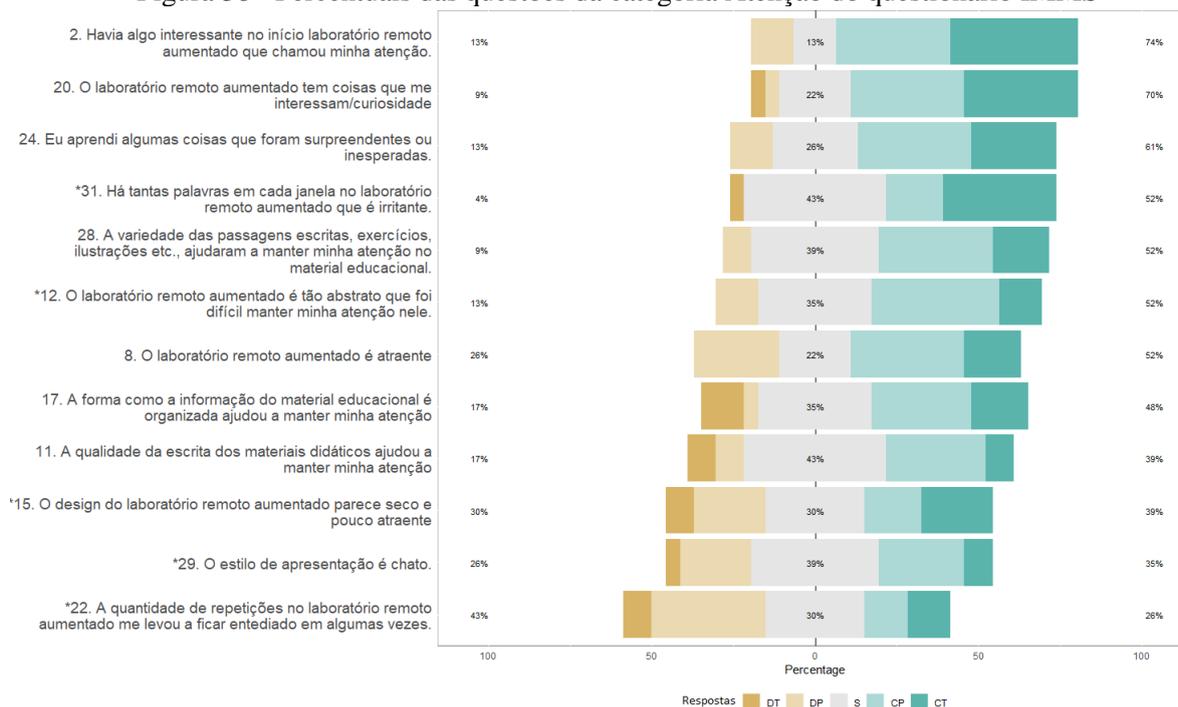
Fonte: Elaborada pela Autora.

A categoria *atenção* apresentou o valor médio de 3,48. A *atenção* é um elemento essencial em termos de motivação; é o que reflete o interesse dos alunos pela atividade realizada. Para Keller (KELLER, 2009), a categoria *atenção* tem como principal objetivo capturar o interesse dos alunos e estimular a curiosidade.

Diante disso, as indagações “2. *Havia algo interessante no início do Laboratório Remoto Aumentado que chamou minha atenção.*”, e; “20. *O Laboratório Remoto Aumentado tem coisas que me interessam*” obtiveram os melhores índices de aceitação: 74% e 70%, respectivamente (Figura 38). Nesse sentido, Ferrer-Torregrosa, et al. (2016) afirmam que o principal diferencial da RA é a possibilidade de visualização e de interação com modelos 3D de forma atraente e intuitiva. Com isso, Rodriguez-Gil, et al. (2017) acrescentam que laboratórios remotos que incorporam RA têm maior potencial para manter a *atenção* dos alunos.

Por outro lado, questões referentes ao designer tiveram percentuais maiores de rejeição (afirmativas 15, 29 e 22). A afirmativa 22, referente à quantidade de repetições no material educacional, obteve 43% de respostas negativas. A Figura 38 apresenta os percentuais obtidos em cada uma das questões pesquisadas na categoria *atenção*.

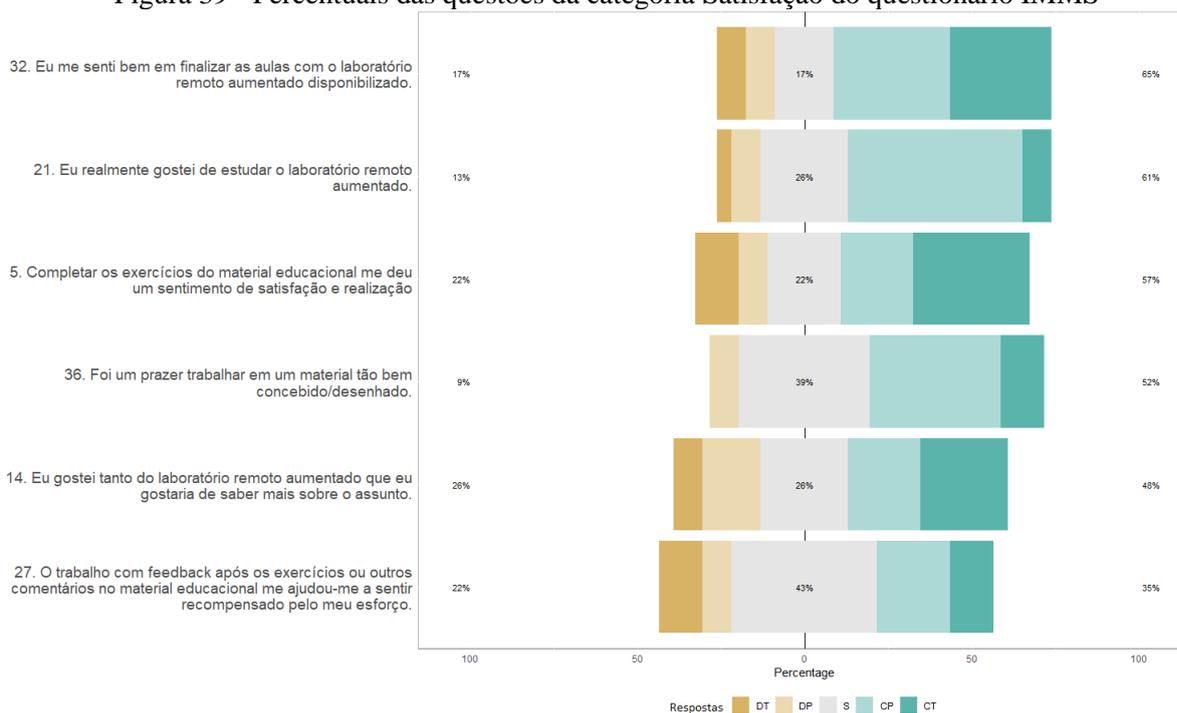
Figura 38 - Percentuais das questões da categoria Atenção do questionário IMMS



* No IMMS, as questões formuladas negativamente recebem valores reversos (de 5 a 1).
 Fonte: Elaborada pela Autora.

A categoria *satisfação* tem como objetivo ajudar os estudantes a se sentirem bem com sua experiência e desejar continuar aprendendo. Nesse contexto, esta categoria busca mensurar quanto o LRA ajudou os estudantes a se sentirem bem e realizados durante a experiência. As questões 32 e 21 obtiveram mais de 60% de concordância (Figura 39).

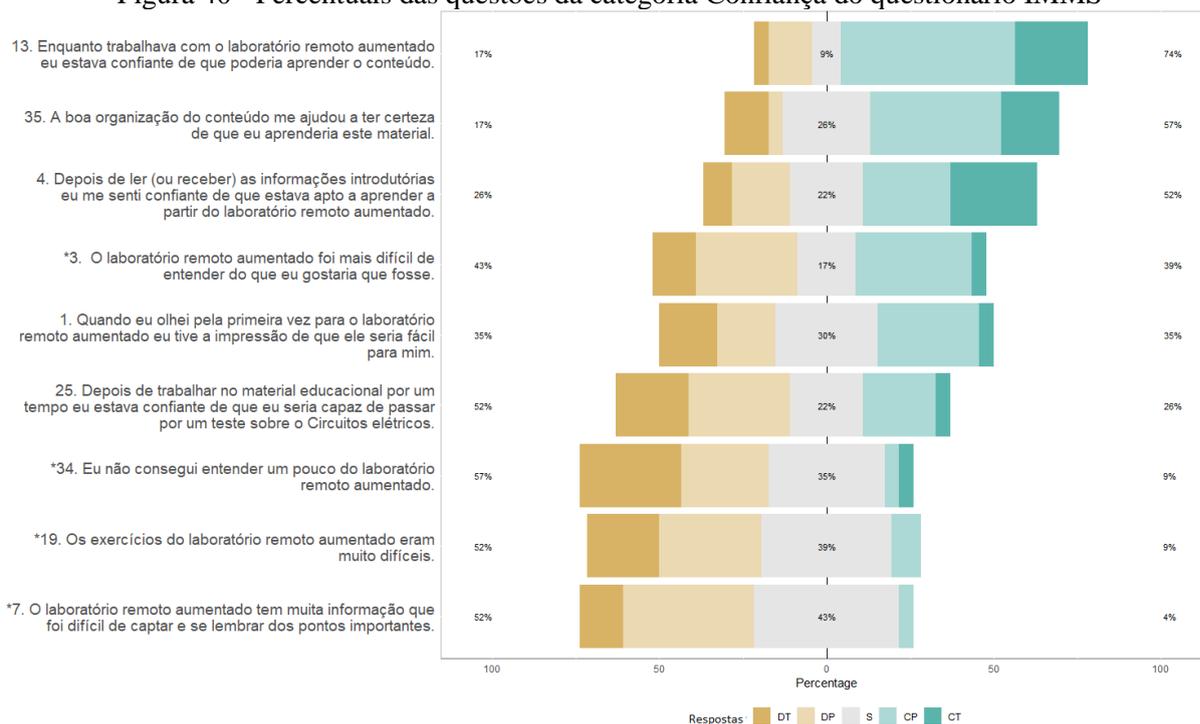
Figura 39 - Percentuais das questões da categoria Satisfação do questionário IMMS



* No IMMS, as questões formuladas negativamente recebem valores reversos (de 5 a 1).
Fonte: Elaborada pela Autora.

Por outro lado, os resultados referentes a *confiança* ($\bar{X} = 2,88$, $\sigma = 1,11$) permaneceram em uma tendência neutra à negativa. A *confiança* refere-se ao nível de expectativa de sucesso que o aprendiz acredita possuir em cada atividade desenvolvida; ou seja, quanto mais bem-sucedida for a experiência do aluno, mais motivado ele estará para melhorar seu aprendizado e desempenho (KELLER, 2009). Nesse sentido, a afirmativa “25. *Depois de trabalhar com o Laboratório Remoto Aumentado por um tempo eu estava confiante de que eu seria capaz de passar por um teste sobre o Circuitos elétricos*” obteve 52% de respostas em “discordo parcialmente” e “discordo totalmente”. Ao passo que a afirmativa “13. *Enquanto trabalhava com Laboratório Remoto Aumentado eu estava confiante de que poderia aprender o conteúdo*” recebeu 74% de respostas positivas (“concordo parcialmente” e “concordo totalmente”). Isso demonstra que, apesar de estarem confiantes em aprender com LRA, ele não seria suficiente para obter resultados satisfatórios em testes sobre o tema (Figura 40).

Figura 40 - Percentuais das questões da categoria Confiança do questionário IMMS

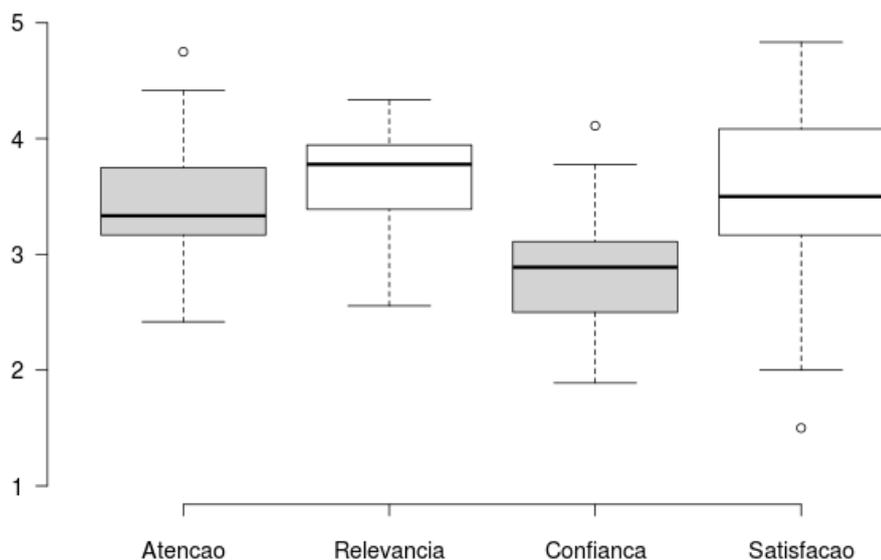


* No IMMS, as questões formuladas negativamente recebem valores reversos (de 5 a 1).

Fonte: Elaborada pela Autora.

Por meio do gráfico boxplot, representado pela Figura 41, é possível analisar detalhadamente os dados.

Figura 41 - Boxplot dos valores obtidos em cada um dos aspectos motivacionais pesquisados



*As linhas centrais mostram as medianas; os limites da caixa indicam os percentis 25 e 75, conforme determinado pelo *software* R; os traços estendem 1,5 vezes a faixa interquartil dos percentis 25 e 75, os valores extremos são representados por pontos. n = 23 pontos de amostra.

Fonte: Elaborada pela Autora.

Tabela 19 - Estatísticas do gráfico Boxplot das respostas do IMMS (Figura 41)

	Atenção	Relevância	Confiança	Satisfação
Máximo do whisker	4.42	4.33	3.78	4.83
3º quartil	3.75	3.94	3.11	4.08
Mediana	3.33	3.78	2.89	3.50
1º quartil	3.17	3.39	2.50	3.17
Mínimo do whisker	2.42	2.56	1.89	2.00
Nº pontos da amostra	23.00	23.00	23.00	23.00

Fonte: Elaborada pela Autora.

As médias das questões referentes à *relevância* ficaram entre os valores 2,56 e 4,33, com mediana de 3,79. Os aspectos de *satisfação* e de *atenção*, que apresentaram o mesmo valor médio, se diferenciam na distribuição dos dados. Enquanto as questões sobre *satisfação* ficaram entre 2,00 e 4,83 (com mediana de 3,50), as questões de *atenção* apresentaram valores entre 2,42 e 4,42 (com mediana de 3,33). Isso demonstra que o aspecto de *atenção* apresentou uma distribuição mais concentrada que aquelas da *satisfação* – além de ter a mediana mais próxima do primeiro quartil, o que identifica que os dados são positivamente assimétricos.

Para testar a significância entre a diferença nas médias de *atenção*, *relevância*, *confiança* e *satisfação* foi aplicado o teste-t pareado em cada um dos pares possíveis das categorias. Para isso, antes, foi analisado se os dados seguiam uma distribuição normal, a fim de selecionar o teste estatístico em conformidade. Utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov no SPSS (CORP, 2020), indicado para amostras menores que 100, foi possível aceitar a hipótese nula (os dados seguem uma distribuição normal). Como pode ser observado na Tabela 20.

Tabela 20 - Testes de normalidade dos dados coletados do instrumento de motivação IMMS

	Kolmogorov-Smirnov^a		
	Statistic	Df	Sig.
Atenção	0,126	23	0,200*
Relevância	0,168	23	0,091*
Confiança	0,125	23	0,200*
Satisfação	0,171	23	0,081*

* $p > 0.05$

Fonte: Elaborada pela Autora.

A Tabela 21 apresenta o resultado para o teste-t, incluindo o cálculo do tamanho do efeito. A partir dos resultados apresentados, pode-se afirmar que não há diferenças significativas entre as médias de *relevância*, *atenção* e *satisfação* ($p > 0,05$). Entretanto, com base nestes mesmos parâmetros, pode-se afirmar que o nível de *confiança* é menor significativamente que os níveis das outras três categorias.

Tabela 21 - Resultado Teste-t para médias do questionário IMMS

Par	t	Df	Sig
Atenção - Relevância	-1,420	22	0,170
Atenção - Confiança	4,344	22	0,000*
Atenção - Satisfação	0,027	22	0,979
Relevância - Confiança	6,157	22	0,000*
Relevância - Satisfação	1,231	22	0,231
Confiança - Satisfação	-3,637	22	0,001*

* $p > 0.05$

Fonte: Elaborada pela Autora.

Ao efetuar uma correspondência com a escala de Likert utilizada, considera-se que as médias obtidas para as categorias de *relevância*, *atenção* e *satisfação* estão mais próximas da opção *concordância parcial* e *concordância total*, enquanto as médias para a categoria *confiança* estão entre as opções *sem opinião* e *discordo parcialmente*.

No cenário da pandemia da COVID-19, manter os alunos motivados, sem o apoio presencial dos professores e a interação com os colegas, foi um grande desafio. Estudos realizados em diferentes países durante a pandemia demonstraram que, apesar do ensino remoto emergencial ter sido implementado com sucesso, muitos alunos demonstraram-se desmotivados, encontrando dificuldades para se manter concentrados nos estudos (LASSOUED; ALHENDAWI; BASHITIALSHAAER, 2020; NIEMI; KOUSA, 2020).

Nesse sentido, os resultados evidenciados na atual pesquisa demonstraram indícios positivos em relação ao uso da LRA como ferramenta educacional capaz de motivar os estudantes no contexto do ERE, especialmente nas esferas da atenção, relevância e satisfação. Entretanto, os resultados referentes à confiança apresentaram uma tendência neutra à negativa, sendo significativamente menor que os índices das outras dimensões pesquisadas. Para os alunos, o LRA contribuiu para a aprendizagem do conteúdo, porém não o suficiente para garantir resultados satisfatórios em testes sobre o tema.

Nesse sentido, é importante destacar a transformação que o ensino remoto emergencial representou nos processos de ensino e aprendizagem. Aspectos como: apoio dos pais, problemas técnicos, habilidades de autogestão e a forma como o conteúdo é levado aos estudantes afetam diretamente o desempenho acadêmico, bem como a motivação (LASSOUED; ALHENDAWI; BASHITIALSHAAER, 2020). Dessa forma, disponibilizar recursos tecnológicos diversificados e atrativos pode ser essencial para envolver os alunos nesse novo ambiente de aprendizado remoto.

Entretanto, esse estudo demonstrou que é preciso pensar em estratégias que contribuam para o aumento da confiança dos estudantes diante do ensino remoto emergencial. O aspecto

confiança tem como objetivo ajudar os estudantes a acreditarem que eles terão sucesso e que eles têm controle sobre seu sucesso, podendo ser promovido a partir da disponibilização de tarefas desafiadora e significativas, além de oferecer suporte para tornar o sucesso nestas tarefas possível (SANTANA, 2018). Nesse sentido, a aplicação da Teoria da Aprendizagem Experiencial de Kolb tem potencial para nortear o ensino por meio de experiências com laboratórios *online* no ERE, uma vez que estimula a ação prática, momentos de reflexão e transformação da experiência em conhecimento.

4.4 Estudo final: o uso de laboratório remoto, virtual e remoto aumentado para apoiar a aprendizagem experiencial de circuitos elétricos

A partir desse ponto é apresentado o estudo final desta tese. Essa seção tem como objetivo apresentar subsídios a fim de responder a questão central desta investigação: *O uso de Laboratórios Remoto, Virtual e Remoto Aumentado, a partir dos preceitos da Teoria de Aprendizagem Experiencial, pode interferir positivamente nos processos de ensino e aprendizagem de circuitos elétricos no contexto do ERE, em termos de desempenho conceitual e motivação?*

Desse modo, a seção está dividida da seguinte forma: a próxima seção apresenta o modelo educacional desenvolvido a partir de ciclos de aprendizagem experiencial, para o ensino de circuitos elétricos, utilizado com os estudantes durante no ERE (4.4.1); em seguida, é apresentado o mapeamento dos estilos de aprendizagem dos estudantes participantes da pesquisa (4.4.2); na seção subsequente (4.4.3), são descritos os resultados relacionados ao desempenho conceitual dos estudantes após a intervenção e, por fim; na seção 4.4.4, são apresentados os resultados obtidos a partir da aplicação do questionário IMMS, a fim de medir o nível de motivação dos estudantes com o uso do ciclo de Kolb apoiado por laboratórios *online*.

4.4.1 Ciclos de Aprendizagem Experiencial aplicados no Ensino Remoto Emergencial

A fim de investigar o potencial do uso de tecnologias de Laboratório Remoto, Laboratório Virtual e Laboratório Remoto Aumentado com o Ciclo de Kolb, foram elaboradas estratégias pedagógicas para o ensino de circuitos elétricos. As estratégias pedagógicas foram elaboradas de acordo com a Teoria de Aprendizagem Experiencial e têm como objetivo desenvolver um ambiente de aprendizagem afetivo, simbólico, perceptivo e comportamental, que permita aos estudantes desenvolver habilidades e competências que possam ensinar a

aprendizagem, por meio da experiência, observação e reflexão (KOLB; KOLB, 2017).

Diante disso, o conteúdo de circuitos elétricos foi trabalhado com os alunos por meio de três ciclos de aprendizagem experiencial, na forma de uma espiral, de modo que permita a progressão na complexidade dos conceitos explorados em cada ciclo. Desse modo, o primeiro ciclo abordou a introdução aos circuitos elétricos, o segundo o estudo dos resistores e, por fim, o terceiro ciclo contemplou o conteúdo de associação de resistores (Figura 42).

Figura 42 - Estratégias pedagógicas para ensino de circuitos elétricos baseadas em ciclos de aprendizagem experiencial



Fonte: Elaborada pela Autora.

Com isso, os ciclos exploraram os fenômenos e as grandezas envolvidos no estudo da eletrodinâmica, o funcionamento de elementos e de equipamentos, bem como suas funcionalidades no circuito elétrico, a relação dos conceitos com situações reais do dia a dia e a relação matemática entre os elementos de um circuito. Fundamentado no trabalho de Dorneles (2010), que realiza um amplo estudo referente às principais dificuldades de aprendizagem em circuitos elétricos, ao fim dos três ciclos de aprendizagem experiencial os alunos deveriam perceber: (i) que é necessário tratar o circuito elétrico como um sistema; (ii) a conservação da corrente elétrica no circuito elétrico; (iii) a relação entre corrente elétrica total e as resistências associadas no circuito; (iv) o comportamento da resistência equivalente para diferentes associações; (v) a corrente elétrica como consequência da diferença de potencial e da resistência elétrica. A Tabela 22 apresenta os objetivos específicos que devem ser alcançados pelos estudantes nas lições de circuitos elétricos, conforme o estudo de Dorneles (2010).

Tabela 22 - Objetivos específicos a serem alcançados pelos alunos ao final do ensino de circuitos elétricos simples.

	Dado(a) um (a)	O aluno deverá
Objetivos específicos	associação de resistores em série	...perceber que: a) a corrente elétrica que circula pelos resistores é a mesma; b) a soma das diferenças de potencial entre as extremidades dos resistores é igual à diferença de potencial aplicada entre os extremos da fonte; c) a resistência equivalente aumenta (diminui) quando um resistor é inserido (retirado) em uma associação em série;
	associação de resistores em paralelo	...perceber que: d) a diferença de potencial entre os extremos dos resistores mesma; e) as divisões de correntes em uma junção do circuito (divisor de corrente) dependem do que existe no restante do circuito; f) a resistência equivalente diminui (aumenta) quando um resistor é inserido (retirado) em uma associação em paralelo;
	circuito com lâmpadas	... ser capaz de: g) identificar que uma lâmpada é um resistor e, portanto, os comportamentos observados em relação a resistores se manifestam também com lâmpadas; h) associar o brilho de uma lâmpada à corrente elétrica;
	fonte de tensão ideal	i) ...perceber que uma bateria ideal não é uma fonte de corrente elétrica constante, sim uma fonte de diferença de potencial constante.

Fonte: (DORNELES, 2010).

Referente ao uso de laboratórios *online*, o primeiro ciclo utilizou dois laboratórios virtuais; o segundo ciclo explorou um laboratório virtual e um remoto, e; o terceiro ciclo utilizou um laboratório remoto e o laboratório remoto aumentado desenvolvido. Esses recursos foram utilizados em diferentes momentos de aprendizagem. Como destacado por Abdulwahed-Nagy (2009), os laboratórios virtuais e remotos têm potencial para serem aproveitados com diferentes objetivos, podendo ativar os quatro modos de adaptação do ciclo de Kolb.

Os ciclos de aprendizagem foram utilizados no ensino remoto emergencial, uma vez que, como já mencionado, a atual pesquisa teve como cenário a pandemia da Covid-19. O ERE substituiu o ensino presencial tradicional e tornou-se o principal método de ensino nesse período; com isso, as aulas aconteceram à distância, de forma síncrona e assíncrona. As aulas síncronas ocorreram por meio da plataforma de comunicação Google Meet, para ambas as turmas. Para as aulas assíncronas, os alunos do EFA tinham à sua disposição o sistema de gerenciamento de conteúdo Google Classroom; e os alunos do IFSC, o Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas (SIGAA). A descrição completa de cada ciclo é apresentada nas seções seguintes.

4.4.1.1 Ciclo de Aprendizagem Experiencial: Introdução aos Circuitos Elétricos

O primeiro ciclo tem como objetivo introduzir os principais conceitos da eletrodinâmica, sobretudo dos circuitos elétricos. Desse modo, foram estabelecidos os objetivos de aprendizagem que os alunos deveriam atingir ao final do primeiro ciclo de aprendizagem experiencial, conforme apresentado na Quadro 1.

Quadro 1 - Objetivos de aprendizagem a serem alcançados pelos alunos ao fim do primeiro ciclo

O aluno deverá...
1. Reconhecer o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos e avaliar seus impactos sociais, culturais e ambientais.
2. Identificar as características de materiais condutores e isolantes e sua aplicação na vida diária.
3. Identificar a condição necessária para a existência de corrente elétrica.
4. Compreender a diferença entre o sentido convencional e real da corrente elétrica.
5. Identificar as características da corrente contínua e alternada e sua aplicação na vida diária.
6. Compreender a importância dos retificadores para o funcionamento de equipamentos elétricos e eletrônicos.
7. Conhecer, caracterizar e identificar a funcionalidade de disjuntores e fusíveis.
8. Definir as relações matemáticas presentes no estudo da corrente elétrica, trabalhando o módulo e a unidade de cada uma das grandezas envolvidas.
9. Relacionar o número de elétrons, a quantidade de carga elétrica, o tempo e a intensidade da corrente elétrica por meio das relações matemáticas.
10. Identificar os perigos e a prevenção de acidentes com eletricidade com base nos efeitos da corrente elétrica.
11. Identificar os diferentes elementos que compõem um circuito elétrico simples.
12. Compreender o conceito da diferença de potencial, sua aplicabilidade e a importância da associação em série de pilhas.

Fonte: Elaborado pela Autora.

O primeiro ciclo foi implementado com quatro aulas *online* síncronas (com duração de 2 horas cada), com intervalos de uma semana cada, em que os alunos deveriam realizar atividades extraclasse (estudos orientados assíncronos). A partir dos objetivos geral e específicos, foi planejada cada etapa do ciclo de aprendizagem.

Para ativar o modo de aprendizagem Experiência Concreta (EC), Kolb (2014) explica que é preciso disponibilizar um ambiente de aprendizagem afetivamente complexo, que deve incentivar os alunos a refletir sobre experiências anteriores que remetem àquele tema, gerando ideias e sentimentos sobre problemas reais. Segundo Kolb, estudantes que alcançaram escores mais elevados entre os que selecionaram Experiência Concreta como modo de aprendizagem preferencial indicaram que sua habilidade de aprender foi aprimorada por fatores afetivos, tais como: realimentação pessoal, compartilhamento de sentimentos e impressões, comportamento de professores como auxiliares amistosos, atividades orientadas à aplicação das habilidades em problemas do mundo real e autonomia. Portanto, os alunos devem estar envolvidos em

atividades que busquem as suas experiências anteriores, levando os conceitos para o cotidiano, e/ou em situações onde os conceitos são relacionados com a atuação de um profissional no campo em estudo.

Desse modo, para a etapa de EC o(a) professor(a) apresentou questões de caráter aberto e problematizado sobre Eletricidade, cujo objetivo foi buscar as experiências concretas e verificar os conhecimentos prévios presentes na estrutura cognitiva dos estudantes. Conforme Kolb (2014), as informações levantadas neste momento, muitas vezes, são expressões de sentimentos, valores e opiniões do aluno que vão surgindo em discussões com colegas ou com o professor. E tais expressões devem ser incentivadas e vistas como insumos produtivos para o processo de aprendizagem. Assim, para que os alunos possam discutir o tema abertamente, o professor deve agir de maneira pessoal, posicionando-se mais como colega do que como autoridade e o *feedback* deve ser “personalizado em relação às necessidades e aos objetivos de cada indivíduo, em oposição ao comparativo” (KOLB, 2014, p. 277).

Para isso, o(a) professor(a) utilizou a ferramenta Google Jamboard, que, de forma virtual, funciona como um quadro branco colaborativo. No Jamboard, os alunos deveriam expressar suas experiências sobre a importância da eletricidade na sociedade atual. Depois, com o objetivo de relacionar os conceitos à atuação profissional e cotidiano, foram disponibilizados um texto e um vídeo nos quais os alunos tinham que debater as seguintes questões:

- Durante o resgate da tripulação da Apollo 13, ligar o ar-condicionado não era uma opção. Por quê?
- Como é formada a corrente elétrica nos fios e cabos elétricos?
- Nas residências existem disjuntores ou fusíveis ligados em série ao circuito elétrico das tomadas e interruptores. Qual é a função desses dispositivos?

Essa etapa contemplou uma aula *online* síncrona e uma semana de estudos orientados assíncronos.

Na Observação Reflexiva (OR), conforme Kolb (2014), são oferecidos ambientes de aprendizado perceptivamente complexos, que são aqueles em que o objetivo principal é entender algo, do qual os alunos sejam capazes de identificar relacionamentos entre conceitos, definir problemas para investigação, coletar informações relevantes e pesquisar uma pergunta. Com isso, a reflexão foi conduzida pelo seguinte tema: “Eletricidade, o que é e de que forma ela influencia na sua vida?”. Os alunos foram orientados, por meio de leituras e vídeos, a refletir sobre o tema e relacioná-lo aos conceitos de corrente elétrica (seu sentido, intensidade, tipos, amperes). A OR teve duração de uma aula *online* síncrona e uma semana de estudos orientados assíncronos.

Após a etapa de observação reflexiva, no momento de estudos orientados assíncronos, os alunos deveriam responder algumas questões abertas sobre o tema – iniciando assim a Conceituação Abstrata (CA). Com isso, partindo dos resultados da atividade extraclasse, o(a) professor(a) conduziu uma aula expositiva (*online* síncrona), a fim de trazer subsídios necessários para que os estudantes formalizassem os conceitos de corrente elétrica (natureza, sentido, intensidade, tipos, materiais condutores e isolantes, bem como os efeitos da corrente). Como atividade, os alunos deveriam escrever um resumo sobre tudo o que foi estudado e responder uma lista de exercícios (com questões retiradas de provas de vestibular e Enem).

Além disso, a fim de expandir a discussão sobre materiais condutores e isolantes, os alunos deveriam acessar o laboratório virtual “Condutividade” do Phet Simulations e verificar em qual condição o fluxo de elétrons ocorre. O experimento virtual nesse momento teve como objetivo ativar tanto a CA, quanto a OR. Como mencionado por Kolb (2014, p. 276), “qualquer experiência de aprendizagem pode ter alguns ou todos os quatro modos de adaptação, em diferentes graus, ao mesmo tempo” (tradução da autora).

Como estudos orientados assíncronos, foi realizada uma atividade de pesquisa individual, na qual os estudantes deveriam pesquisar e registrar os conceitos de gerador elétrico, dispositivo de manobra, receptor elétrico, resistor elétrico, dispositivos de segurança e controle.

Por fim, na Experiência Ativa (EA), foi utilizado o laboratório virtual “Kit para Montar Circuito”, também disponibilizado por Phet Simulations, para a aplicação do conhecimento. A EA caracteriza-se pela formulação e verificação de hipóteses, fazendo com que os conceitos aprendidos sejam testados em novas situações (KOLB; FRY, 1975). Conforme os estudos de Abdulwahed e Nagy (2009), os laboratórios remotos e virtuais podem ser utilizados nessa etapa do ciclo para a aplicação e consolidação do conhecimento adquirido, assim como seria em um laboratório prático tradicional.

4.4.1.2 Ciclo de Aprendizagem Experiencial: Estudo dos resistores

O segundo ciclo tem como objetivo o estudo dos resistores. Desse modo, foram estabelecidos os objetivos de aprendizagem que os alunos deveriam atingir ao final do segundo ciclo de aprendizagem experiencial, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Objetivos de aprendizagem a serem alcançados pelos alunos ao fim do segundo ciclo

O aluno deverá...
<ol style="list-style-type: none"> 1. Conceituar a grandeza de resistência elétrica, bem como identificar os elementos que possibilitem a variação dessa grandeza. 2. Identificar as condições necessárias para o funcionamento de um circuito elétrico. 3. Identificar a funcionalidade de cada um dos elementos básicos para o funcionamento dos circuitos elétricos simples. 4. Identificar em situações da vida diária a existência e a função de diferentes componentes de um circuito. 5. Identificar as relações matemáticas entre a intensidade da corrente elétrica, a resistência elétrica e a diferença de potencial. 6. Efetuar a relação por meio da utilização de lâmpadas entre brilho, luminosidade, resistência e diferença de potencial. 7. Relacionar as diferentes grandezas com suas unidades do sistema internacional de medidas. 8. Identificar as vantagens ou desvantagens da dissipação de energia elétrica por meio do efeito Joule. 9. Conhecer as diferentes características de resistores receptores e geradores dentro de um circuito elétrico. 10. Trabalhar às relações de grandezas direta ou inversamente proporcionais dos elementos envolvidos no funcionamento de um circuito.

Fonte: Elaborada pela Autora.

O segundo ciclo teve 3 alunas *online* síncronas (com duração de 2 horas cada), com intervalos de uma semana cada, em que eram realizados os estudos orientados assíncronos.

Como em uma espiral para a progressão de saberes, na etapa de EC do segundo ciclo, foi utilizado, novamente, o laboratório virtual “Kit para Montar Circuito”; porém, aqui, com um objetivo mais exploratório. O(a) professor(a) solicitou que os alunos montassem diferentes circuitos elétricos que contivessem uma bateria, fios condutores, lâmpadas (variando o número de lâmpadas em cada circuito) e um interruptor para, em seguida, realizar alguns experimentos com esses circuitos. A atividade foi orientada a partir de algumas questões que buscavam exemplificar os conceitos de tensão, corrente e resistência elétrica, relacionando-os com o cotidiano dos alunos.

Para a Observação Reflexiva, foram disponibilizados textos e vídeos que traziam o conceito de resistência elétrica sob diferentes perspectivas, indo do conhecimento teórico para a aplicação prática do conceito. Com isso, os alunos deveriam coletar informações para responder as seguintes questões: o que é resistência elétrica? Qual sua relação com as lâmpadas? E qual a relação entre a intensidade da corrente e a resistência elétrica do condutor?

Na etapa de Conceituação Abstrata, foi conduzida uma aula expositiva a fim de retomar e de formalizar todos conceitos explorados nas etapas anteriores (Resistores, Leis de Ohm). O(a) professor(a) utilizou os circuitos montados no laboratório virtual, da etapa de EC, para explorar os conceitos e as relações matemáticas entre os elementos do circuito (Figura 43).

Figura 43 - Tela da aula expositiva *online* síncrona da professora do EFA

The image shows a split-screen view from a Google Meet session. On the left, a whiteboard contains handwritten notes in red and green ink. The title is 'Resistência elétrica (92)'. Below it, the formula $R = \frac{U}{i}$ is written, with 'ddp - tensão' above U and 'corrente elétrica' below i . The derivation $\Rightarrow U = R \cdot i$ is shown. For a circuit with $R = 10\Omega$, $U = 9V$, and $i = i$ (1 lâmp), the calculation $i = \frac{U}{R} = \frac{9V}{10\Omega} = 0,9A$ is shown. For a circuit with 2 lâmp (two resistors in series), $R = 10\Omega + 10\Omega = 20\Omega$, $U = 9V$, and $i = ?$, the calculation $i = \frac{9V}{20\Omega} = 0,45A \approx 0,5A$ is shown. On the right, a PhET simulation interface is visible, showing a circuit with a 9.0V battery, two 10.0Ω resistors, and a current meter labeled 'Corrente' with a value of 7.

Fonte: captura da tela da reunião no Google Meet.

Nessa aula expositiva, o(a) professor(a) ainda explanou sobre os instrumentos de medidas, potência elétrica, força eletromotriz e contraeletromotriz. Além disso, o(a) professor(a) aproveitou para revisar conceitos explorados no ciclo 1, já que, a partir dos resultados do pós-teste, o(a) professor(a) identificou que os alunos tiveram mais dificuldades de entendimento.

Por fim, a etapa de Experimentação Ativa aconteceu pelo modelo de estudos orientados assíncronos, nos quais os alunos deveriam utilizar o laboratório remoto “Painel Elétrico CA” tradicional, experimentando as diferentes configurações disponíveis através do acionamento dos interruptores, para observar as diferenças na luminosidade das lâmpadas, relacionando com os conceitos trabalhados em aula. Como “gancho” para o próximo ciclo, o(a) professor(a) solicitou que os alunos observassem as diferentes combinações de resistores no painel.

4.4.1.3 Ciclo de Aprendizagem Experiencial: Associação de resistores

O terceiro ciclo contemplou o conteúdo de associação de resistores. Desse modo, foram estabelecidos os objetivos de aprendizagem que os alunos deveriam atingir ao fim do terceiro ciclo de aprendizagem experiencial, conforme apresentado na Quadro 3.

Quadro 3 - Objetivos de aprendizagem a serem alcançados pelos alunos ao fim do terceiro ciclo

O aluno deverá...
<ol style="list-style-type: none"> 1. Compreender a lei de Ohm e sua relação e aplicação nos diferentes circuitos elétricos. 2. Identificar as diferentes formas de associação de resistores, bem como suas características e sua aplicabilidade. 3. Diferenciar resultados presentes nas associações de resistores, bem como brilho resultante das lâmpadas associadas. 4. Compreender a relação entre indução eletromagnética e a geração de energia. 5. Caracterizar cada uma das associações e sua aplicabilidade na vida diária. 6. Identificar e comprovar matematicamente a resistência resultante nas diferentes associações de resistores.

Fonte: Elaborada pela Autora.

O ciclo 3 foi elaborado a partir de trilhas de aprendizagem, nas quais os alunos ficavam livres para escolher o melhor caminho para aprender – oportunizando um ensino mais autônomo. Cada trilha estava relacionada a um dos modos de aprendizagem EC, OR e EA – e, desde que os alunos passassem por todas as trilhas, poderiam escolher a ordem para realizar as atividades. O modo de aprendizagem CA foi aplicado ao fim do ciclo, quando o(a) professor(a) formalizou todos os conceitos em uma aula expositiva.

Essa organização se deu, principalmente, devido ao ciclo utilizar os laboratórios remotos (tradicional e o remoto aumentado), o que poderia causar congestionamento no acesso ao recurso caso todos os alunos acessassem o laboratório ao mesmo tempo. Vale ressaltar que, conforme Kolb e Kolb (2017), o ciclo de aprendizagem experiencial é dinâmico, não existindo apenas um modo de percorrê-lo, sendo benéfico, portanto, deixar os alunos livres para escolher o seu caminho de aprendizagem. Kolb e Kolb (2017) acrescentam que o que determinará a forma como o ciclo será percorrido é o estilo de aprendizagem de cada aluno.

A condução das trilhas iniciou-se em aula *online* síncrona, contemplando 2 horas/aula, e os alunos poderiam finalizar as atividades de forma assíncrona, em um prazo de uma semana. A CA foi realizada em uma outra aula *online* síncrona, também com duração de 2 horas.

Na etapa de Experimentação Concreta, a professora disponibilizou um material descritivo com questões problematizadoras sobre associações de resistores. Como continuidade da etapa EA do ciclo anterior, os alunos precisavam utilizar o laboratório remoto “Painel Elétrico CA” tradicional como apoio. Na trilha 2, a professora disponibilizou materiais que pudessem dar subsídio para a reflexão (OR). Os materiais disponibilizados – textos e vídeos – tinham como objetivo retomar os conceitos de Lei de Ohm e explorar de forma introdutória a associação de resistores (CA).

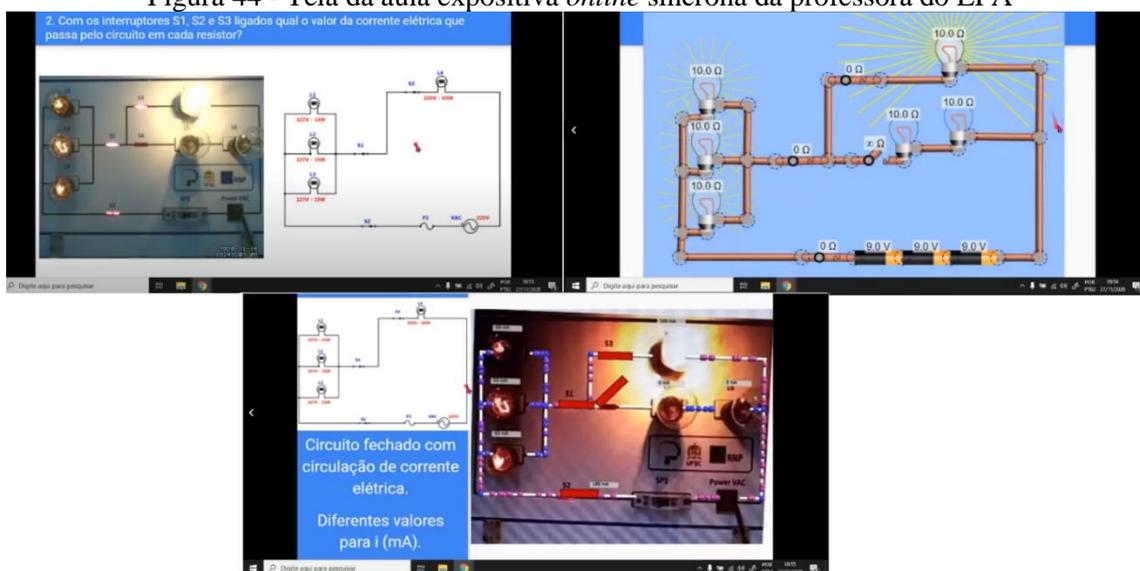
Na Experimentação Ativa, para a trilha 3, foi utilizado o laboratório remoto aumentado desenvolvido no âmbito dessa tese (LRA – “Painel Elétrico CA”) a fim de proporcionar a

aplicação e a consolidação do conhecimentos adquiridos – assim como recomendado por Abdulwahed e Nagy (2009). Nesse momento, os alunos foram orientados a interagir com o experimento e observarem as associações a partir do comportamento das lâmpadas (LR) e dos objetos virtuais (RA), como a intensidade e os valores da corrente em diferentes configurações (interagindo com as chaves do painel).

Por fim, foi realizada a etapa de Conceituação Abstrata, a partir de uma aula expositiva, a fim de formalizar os conceitos de Corrente Elétrica e Associação de Resistores. Para a exposição dos conceitos, o(a) professor(a) iniciou retomando os conceitos de *ohm*, *volt* e *amp*; depois, com ajuda dos laboratórios *online* utilizados nas etapas anteriores (virtual, remoto e remoto aumentado), explorou os diferentes tipos de associação.

O(a) professor(a) apresentou as mesmas configurações nos diferentes tipos de laboratórios. O laboratório remoto foi explorado, principalmente, dando ênfase para o comportamento das lâmpadas em cada tipo de associação; já o laboratório virtual, como forma de apresentar um esquema simplificado dos circuitos – para explorar os tipos de associação sem considerar as diferentes potências das lâmpadas. E, por fim, o LRA foi utilizado pelo(a) professor(a) para exemplificar o comportamento da corrente elétrica em cada tipo de associação no equipamento real, relacionando com as informações dos elementos virtuais de RA. A Figura 44 apresenta as capturas de tela da aula *online* síncrona no Google Meet dos alunos do EFA.

Figura 44 - Tela da aula expositiva *online* síncrona da professora do EFA



Fonte: capturas da tela da reunião no Google Meet.

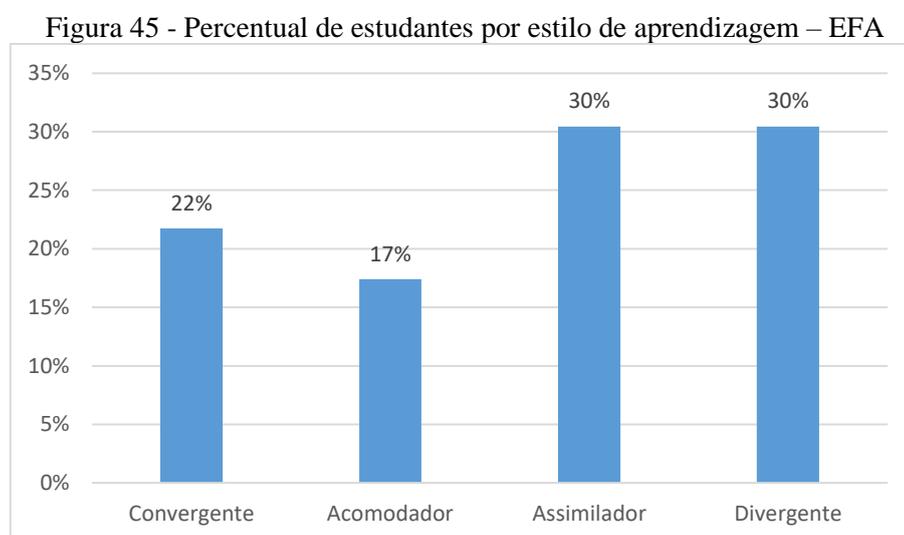
Como mencionado anteriormente, cada ciclo foi precedido por uma avaliação diagnóstica e finalizado com uma avaliação conceitual, como forma de mensurar o ganho no desempenho conceitual dos estudantes dos tópicos abordados em cada um dos ciclos de

aprendizagem. Além disso, foram utilizadas uma avaliação diagnóstica geral e uma avaliação conceitual geral, que foram aplicadas com os alunos no início e no fim do semestre, respectivamente.

4.4.2 Mapeamento dos estilos de aprendizagem dos estudantes

Nessa seção, é apresentado o mapeamento dos estilos de aprendizagem dos estudantes, a partir da aplicação do Inventário de Estilos de Aprendizagem de Kolb. Primeiramente, é apresentado os resultados dos estilos de aprendizagem dos 23 alunos da unidade de análise EFA e, em seguida, dos 43 alunos da unidade de análise IFSC.

Entre os alunos do Centro de Educação Básica Francisco de Assis – EFA, foi possível identificar os quatro estilos de aprendizagem entre os estudantes. Conforme apresenta a Figura 45, os estilos de aprendizagem mais evidenciado são o Assimilador e Divergente, representando 60% dos estudantes. O estilo Convergente apareceu para 22% dos estudantes; e o estilo acomodador para 17% dos estudantes.



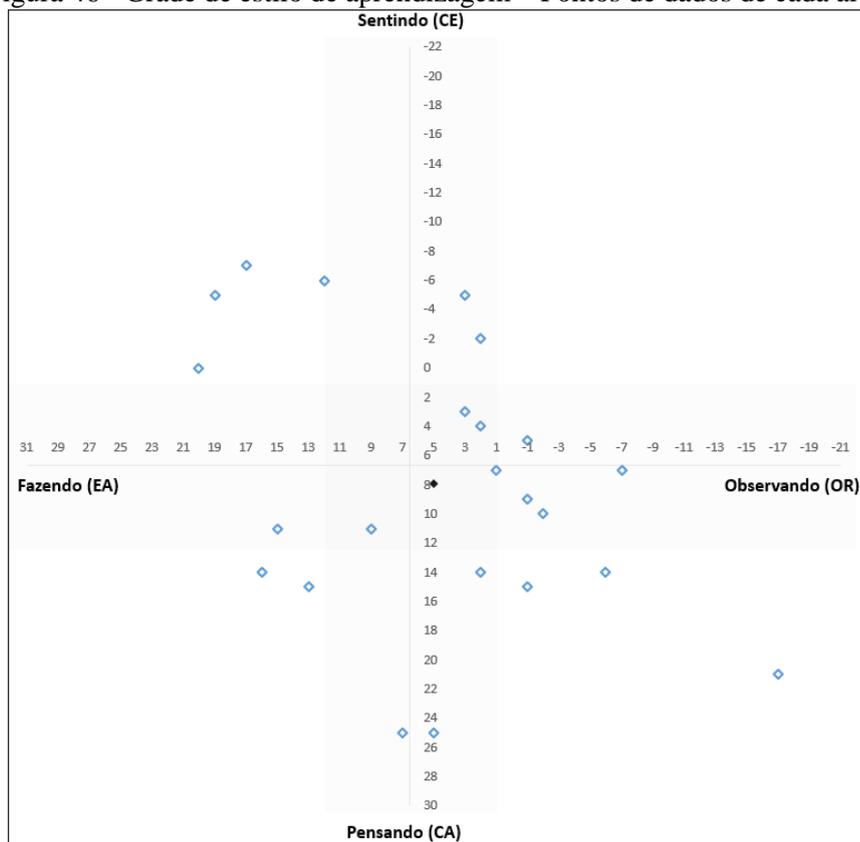
Fonte: Elaborada pela Autora.

Para realizar uma análise detalhada dos estilos de aprendizagem da turma, observando as preferências dos estudantes entre abstração sobre o concreto (CA-EC), bem como da ação para a reflexão (EA-OR), foi utilizada a grade de estilo de aprendizagem de Kolb (Figura 46). Por meio do cruzamento dos valores obtidos em cada eixo, a partir das respostas ao questionário KLSI 3.1, pôde-se verificar quanto um indivíduo confia em um estilo de aprendizagem específico ou se é orientado por mais de um estilo. Esses valores são obtidos através do cálculo das médias de cada modo de adaptação, que são subtraídos entre os eixos EA-RO e CA-CE.

Dessa forma, ao cruzar os dados na grade, se o *data point* cair nas extremidades, na área não sombreada, o indivíduo tende a confiar muito naquele estilo de aprendizagem; entretanto, se o ponto de dados cair em uma área sombreada, o estilo é caracterizado por uma combinação dos estilos de aprendizagem adjacentes.

Por exemplo: se o ponto de dados cair na área sombreada entre os quadrantes de acomodação e divergência, o estilo de aprendizagem é caracterizado por uma forte orientação para a Experiência Concreta, com igual ênfase na Experimentação Ativa e Observação Reflexiva e com pouca ênfase na Conceptualização Abstrata (CA). Quanto mais próximo o *data point* estiver do centro da grade, mais equilibrado é o estilo de aprendizagem, combinando igualmente experiência, pensamento, reflexão e ação (KOLB; KOLB, 2005). Dessa forma, a Figura 46 apresenta os *data point* de cada aluno. A média da turma dos eixos CA-EC e EA-OR é de 6,7 e de 5,5, respectivamente, marcado na grade com um ponto escuro.

Figura 46 - Grade de estilo de aprendizagem – Pontos de dados de cada aluno



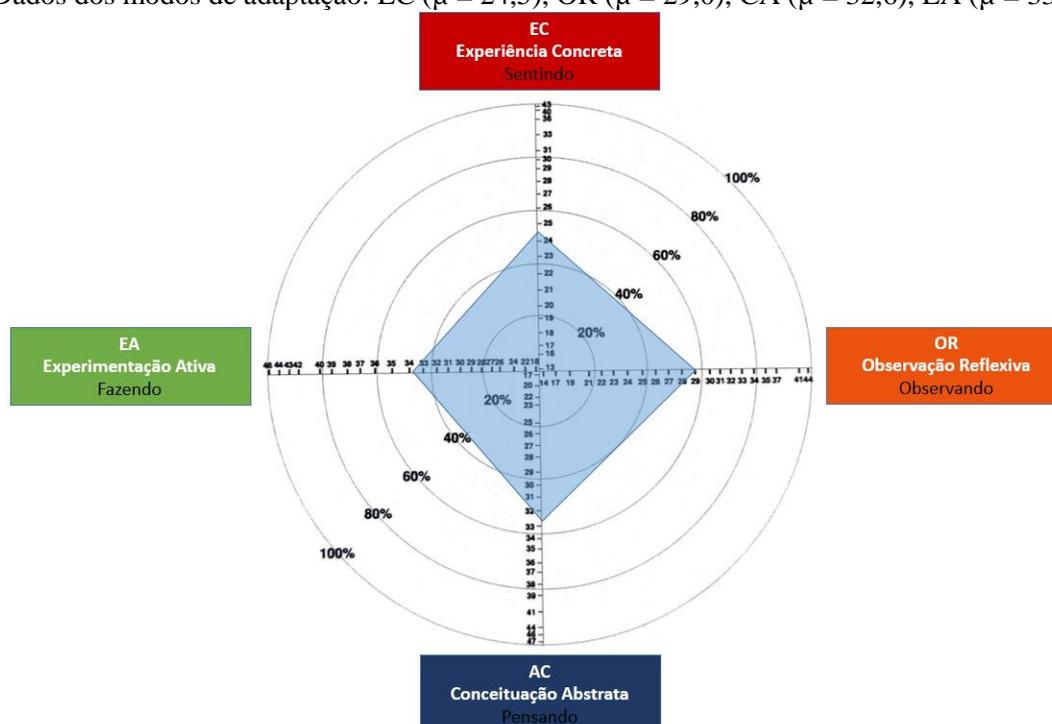
Fonte: Elaborada pela Autora.

Pode-se constatar que 39,2% dos alunos apresentam um estilo de aprendizagem específico; enquanto 60,8% são influenciados por mais de um estilo. Observando o gráfico, é possível identificar que a maioria dos estudantes está entre o eixo Assimilador e Divergente –

o que indica uma preferência do grupo amostral para o modo de adaptação OR.

Essa propensão do grupo amostral para Observação Reflexiva fica ainda mais evidente ao plotar os escores médios de EC, OR, CA e EA no Diagrama do Ciclo de Aprendizagem. Seguindo o manual do KLSI 3.1 (KOLB; KOLB, 2005), a Figura 47 representa os escores médios da turma. Como pode ser observado, o grupo de alunos apresenta um equilíbrio em relação ao eixo de apreensão da experiência (CA-EC), mas possui uma inclinação para a OR em detrimento a EA no eixo de transformação da experiência (EA-OR).

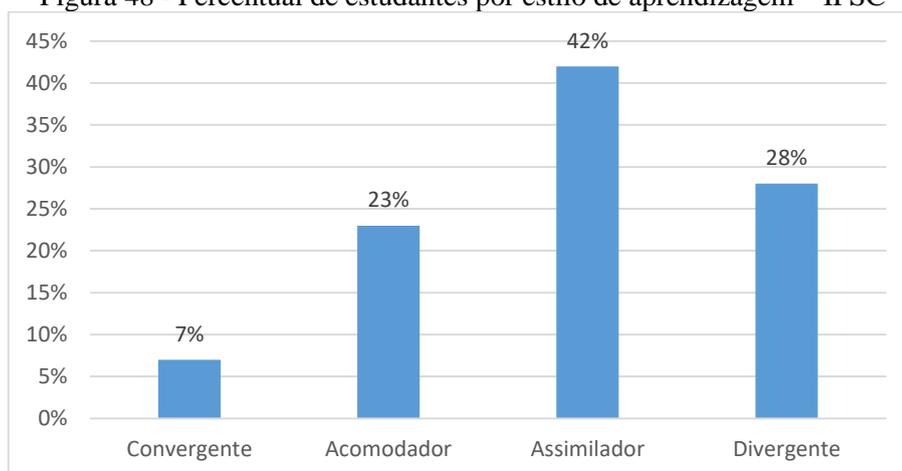
Figura 47 - Diagrama do Ciclo de Aprendizagem com o perfil dos estudantes (N = 23)
Dados dos modos de adaptação: EC ($\mu = 24,5$), OR ($\mu = 29,0$), CA ($\mu = 32,6$), EA ($\mu = 33,9$)



Fonte: (Kolb; Kolb, 2005).

Da mesma forma que os alunos do EFA, os alunos do Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC apresentaram os quatro estilos de aprendizagem. Conforme apresenta a Figura 48, o estilo de aprendizagem mais evidenciado é o Assimilador, aparecendo para mais de 40% dos estudantes. O estilo Divergente apareceu para 28% dos estudantes; o estilo Acomodador, para 23%; e o estilo Convergente, para apenas 7% dos estudantes.

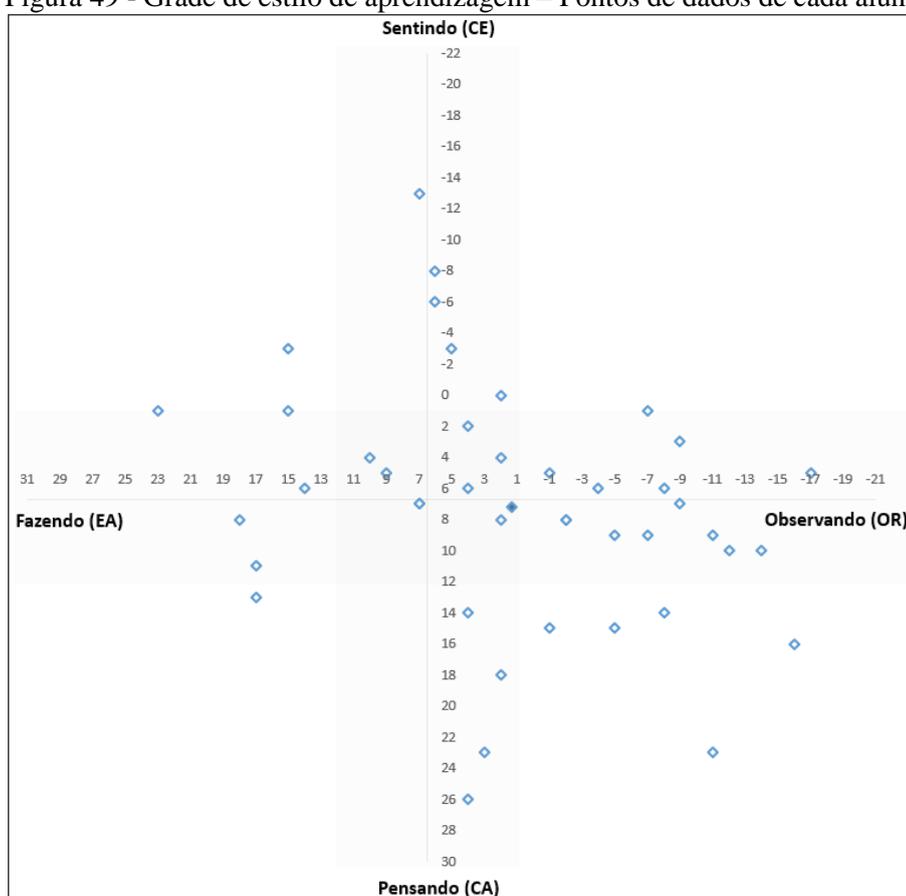
Figura 48 - Percentual de estudantes por estilo de aprendizagem – IFSC



Fonte: Elaborada pela Autora.

A Figura 49 apresenta os *data point* de todos os alunos na grade de estilo de aprendizagem. A média da amostra dos eixos CA-EC e EA-OR é de 7,3 e de 1,2, respectivamente, como apresentada no gráfico por um ponto azul.

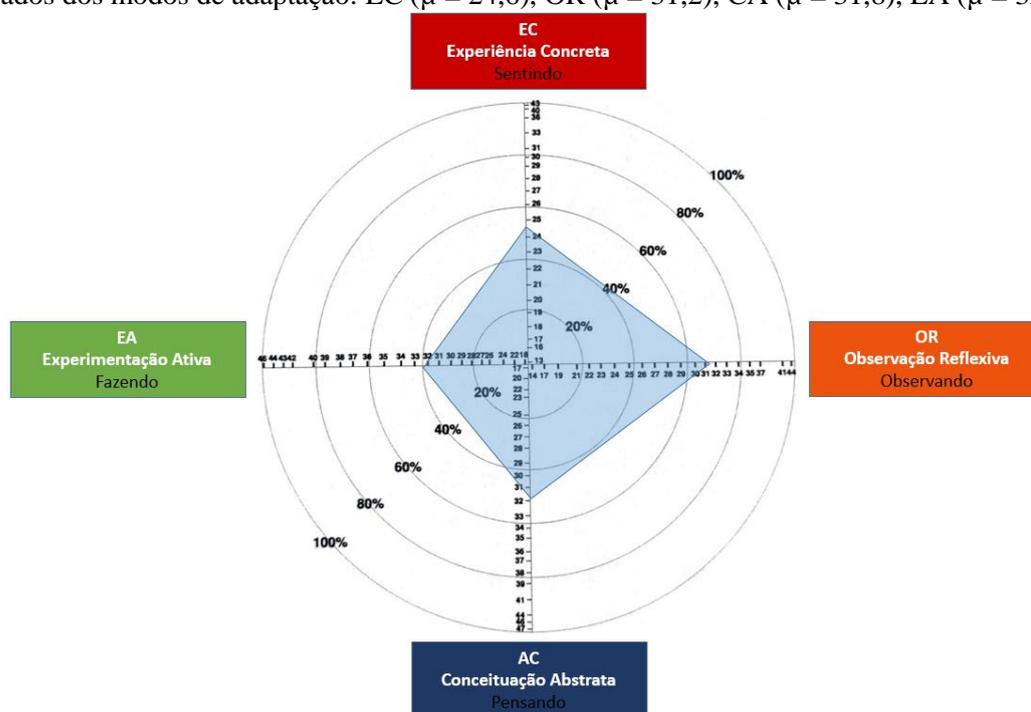
Figura 49 - Grade de estilo de aprendizagem – Pontos de dados de cada aluno



Fonte: Elaborada pela Autora.

Pode-se constatar que 23,2% dos alunos apresentam um estilo de aprendizagem específico, enquanto 76,7% são influenciados por mais de um estilo. Observando o gráfico da Figura 50, é possível identificar que a maioria dos estudantes está entre o eixo Assimilador e Divergente, o que indica uma preferência do grupo amostral para o modo de adaptação Observação Reflexiva, assim como apresentado pelos alunos do EFA. Entretanto, entre os alunos do IFSC, essa propensão é ainda mais evidente, apresentando média do eixo EA-OR de 1,2 pontos.

Figura 50 - Diagrama do Ciclo de Aprendizagem com o perfil dos estudantes (N = 43)
Dados dos modos de adaptação: EC ($\mu = 24,6$), OR ($\mu = 31,2$), CA ($\mu = 31,8$), EA ($\mu = 32,4$)



Fonte: (Kolb; Kolb, 2005).

A seguir serão apresentados os resultados referentes ao desempenho conceitual dos estudantes com o uso do Ciclo de Kolb apoiado por Laboratórios Online.

4.4.3 Desempenho conceitual dos estudantes com o uso do Ciclo de Kolb apoiado por Laboratórios *Online*

Esta seção apresenta os resultados obtidos nas avaliações diagnóstica e conceitual em cada ciclo de aprendizagem experiencial, bem como o desempenho geral dos estudantes após a intervenção, durante o período pandêmico da Covid-19, entre os anos de 2020 e 2021. O objetivo aqui é trazer subsídio para responder as Questões de Pesquisa 1 e 2, relacionadas ao

impacto do uso dos Laboratórios Remoto, Virtual e Remoto Aumentado, inseridos em um Ciclo de Kolb, no desempenho conceitual dos estudantes:

- O uso dos Laboratórios Remoto, Virtual e Remoto Aumentado, inseridos em um Ciclo de Kolb, contribui para a melhora no desempenho conceitual na aprendizagem de circuitos elétricos?
- O uso dos Laboratórios Remoto, Virtual e Remoto Aumentado, inseridos em um Ciclo de Kolb, contribui igualmente para a melhora no desempenho conceitual de alunos de diferentes estilos de aprendizagem?

Os resultados estão organizados da seguinte forma: na próxima seção (seção 4.4.3.1), são apresentados os resultados do desempenho conceitual por ciclo das duas unidades de análise (EFA e IFSC). Em seguida, são apresentados os resultados do desempenho conceitual geral, os quais foram obtidos a partir das avaliações diagnóstica e conceitual aplicadas no início e no fim do semestre, após a aplicação dos três ciclos de aprendizagem (seção 4.4.3.1). Na seção 4.4.2.1, o desempenho conceitual é analisado a partir dos estilos de aprendizagem dos estudantes. Por fim, na seção 4.4.3.4, é realizada uma análise detalhada das respostas dos estudantes ao questionário, destacando as concepções científicas e alternativas antes e após a intervenção.

4.4.3.1 Resultados por ciclo de aprendizagem

A evolução das turmas, no que corresponde ao desempenho conceitual em cada um dos ciclos propostos, foi medida pelo teste estatístico *t* de *Student*, por estatística descritiva utilizando gráficos do tipo *boxplot* e pelo parâmetro denominado ganho normalizado de Hake (HAKE, 1998).

A Tabela 23 apresenta a caracterização dos estudantes que responderam o pré e pós-teste do **primeiro ciclo**, referente à introdução aos circuitos elétricos. Dos 17 alunos do EFA, 71% são sexo feminino e 29% são do sexo masculino, com idades de 17 (59%) a 18 anos (41%). Em relação aos estilos de aprendizagem, 23,5% são divergentes, 29,4% assimiladores, 23,5% convergentes e 23,5% são acomodadores. Em relação aos alunos do IFSC, dos 35 alunos que responderam aos questionários do primeiro ciclo, 80% são sexo feminino e 20% são do sexo masculino, entre idades de 15 e 17 anos. Entre os estilos de aprendizagem, 31,4% são divergentes, 37,1% assimiladores, 8,6% convergentes e 22,8% são acomodadores.

Tabela 23 - Caracterização dos estudantes que responderam o pré e pós-teste primeiro ciclo

Variáveis	% (Freq.)	
	EFA	IFSC
Sexo		
Feminino	71% (12)	20,0% (7)
Masculino	29% (5)	80,0% (28)
Idade		
15 anos	---	60,0% (21)
16 anos	---	37,2% (13)
17 anos	59% (10)	2,8% (1)
18 anos	41% (7)	---
Estilo		
Divergente	23,5% (4)	31,4% (11)
Assimilador	29,4% (5)	37,1% (13)
Convergente	23,5% (4)	8,6% (3)
Acomodador	23,5% (4)	22,8% (8)

Fonte: Elaborada pela Autora.

Foi traçada uma média geral sobre o aproveitamento dos alunos (Tabela 24). Os alunos do EFA atingiram média inicial (Avaliação Diagnóstica - AD) de 4,35 e média final (Avaliação Conceitual - AC) de 7,00 pontos. Já os alunos do IFSC apresentaram média inicial (AD) de 5,60 e média final (AC) de 7,51 pontos. Aplicando o Teste t de *Student*, pôde-se afirmar que os resultados obtidos, em ambas as turmas, foram estatisticamente significativos, uma vez que os valores de *p* ficaram abaixo de 0,05 (α).

Tabela 24 - Médias e valores do teste t de *Student* para as avaliações diagnóstica e conceitual ciclo 1

	μ AD	Desvio padrão AD	μ AC	Desvio padrão AC	μ da diferença	Valor de <i>t</i>	Valor de <i>p</i>
EFA	4,35	1,90	7,00	1,69	2,65	-6,181	0,000
IFSC	5,60	1,88	7,51	1,48	1,91	-4,807	0,000

*Nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$)

Fonte: Elaborada pela Autora.

Foram elaboradas representações gráficas no formato de *boxplot* para a análise detalhada dos resultados, visto que possibilitam maior compreensão do desempenho conceitual dos estudantes após a intervenção e auxiliam na interpretação acerca dos resultados estatísticos.

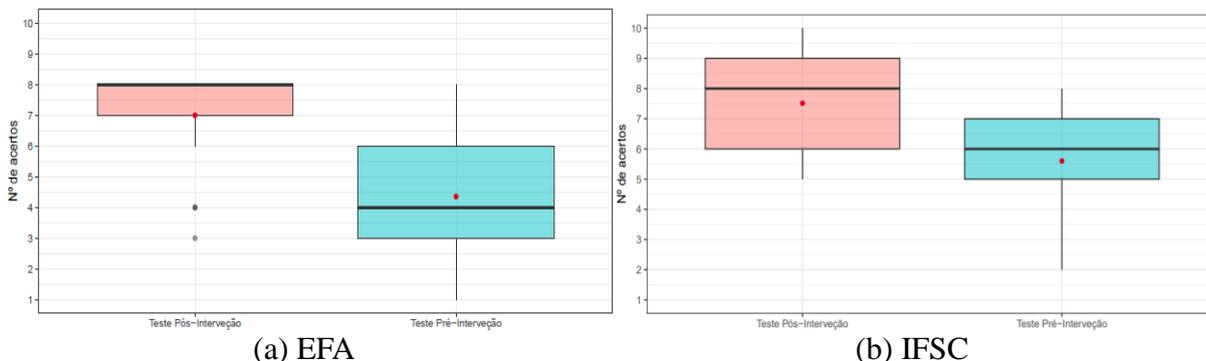
A Figura 51 apresenta os *boxplots* das duas turmas, comparando o número de acertos entre os testes pré e pós intervenção do primeiro ciclo (o ponto vermelho representa a média de cada uma das amostras).

Como pode ser observado na Figura 51 (A), na avaliação diagnóstica da unidade de análise EFA, o conjunto de dados possui uma maior amplitude quando comparado com a AC. As notas na AD ficaram entre 1 e 8 pontos, não apresentando nenhum *outlier* – valores atípicos,

que são identificados para que não comprometam as interpretações dos resultados dos testes estatísticos (representados na forma de ponto cinza). O valor mediano da amostra foi de 4, mais próxima do primeiro quartil, apresentando uma distribuição dos dados positivamente assimétrica. A amplitude interquartílica corresponde a 3 pontos, sendo que a maioria dos participantes (50%) obteve desempenho na faixa entre 3 e 6 pontos. Os traços para ambos os lados da caixa (reta vertical) demonstram que 25% dos participantes obtiveram desempenho tão baixo quanto 3 pontos e os outros 25% tão elevados quanto 6 pontos (Tabela 25).

Já na AC o aproveitamento da turma de alunos do EFA ficou entre 6 e 8 pontos, com dois *outliers*. A mediana foi de 8 pontos, marcada no início do terceiro quartil; portanto, os dados são negativamente assimétricos – metade da turma teve um desempenho inferior a 8 pontos, e a outra metade obteve desempenho igual a 8 pontos. A amplitude interquartílica corresponde a 1 ponto, sendo que a maioria dos participantes (50%) obteve desempenho na faixa entre 7 e 8 pontos. Outros 25% obtiveram desempenho igual a 8 pontos e mais 25% obtiveram tão baixo quanto 7 pontos.

Figura 51 - Gráfico boxplot para a comparação do número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual do ciclo 1



*As linhas centrais mostram as medianas; os limites da caixa indicam os percentis 25 e 75, conforme determinado pelo *software* R; os traços estendem 1,5 vezes a faixa interquartil dos percentis 25 e 75, os valores extremos (*outliers*) são representados por pontos. a) n = 17 pontos de amostra; b) n = 35 pontos de amostra.

Fonte: Elaborada pela Autora.

Tabela 25 - Estatísticas do gráfico Boxplot (Figura 51)

	EFA		IFSC	
	AD	AC	AD	AC
Máximo do whisker	8.00	8.00	8.00	10.00
3º quartil	6.00	8.00	7.00	9.00
Mediana	4.00	8.00	6.00	8.00
1º quartil	3.00	7.00	5.00	6.00
Mínimo do whisker	1.00	6.00	2.00	5.00
Nº pontos da amostra	17	17	35	35

Fonte: Elaborada pela Autora.

Em relação aos alunos do IFSC, as notas na AD ficaram entre 2 e 8 pontos (sem *outlier*). O valor mediano da amostra foi de 6, situado no centro – o que significa que a distribuição dos dados é simétrica. A amplitude interquartílica corresponde a 2 pontos, sendo que a maioria dos participantes (50%) obteve desempenho na faixa entre 5 e 7 pontos; outros 25% obtiveram desempenho tão baixo quanto 5 pontos e, os demais 25%, tão elevados quanto 7 pontos (retas verticais).

Já na AC o aproveitamento da turma ficou entre 5 e 10 pontos, também sem *outliers*. A mediana foi de 8, situada mais próxima do terceiro quartil; portanto, os dados são negativamente assimétricos. Os alunos do IFSC apresentaram maior amplitude interquartílica (3 pontos) na avaliação conceitual, quando comparada com os alunos do EFA, sendo que a maioria dos participantes (50%) obteve desempenho na faixa entre 6 e 9 pontos. As retas verticais demonstram que 25% dos participantes obtiveram desempenho tão baixo quanto 6 pontos e os demais 25% tão elevados quanto 9 pontos.

É importante destacar que, entre os alunos do EFA, dois não apresentaram progressão entre as avaliações, sendo que um aluno obteve nota menor na avaliação conceitual. Entre os alunos do IFSC, esse número ficou em nove; desses, sete alunos obtiveram nota menor na avaliação conceitual quando comparado com a avaliação diagnóstica.

Aplicando o teste de ganho normalizado proposto por Hake, chegou-se aos valores de 0,51 dos alunos do EFA e de 0,57 dos alunos do IFSC. Considerando os critérios de Hake (1998), observa-se que as turmas obtiveram ganho médio de aprendizagem ($0,30 \leq g < 0,70$). Os resultados dos cálculos do ganho de Hake são apresentados na Tabela 26.

Tabela 26 - Resumo dos resultados do ganho normalizado de Hake do primeiro ciclo

Ciclo 1	n	Pré-teste	Pós-teste	Ganho normalizado
		% de acertos	% de acertos	(%Pós-%Pré)/(100/%Pré)
EFA	17	43,00%	72,00%	0,51
IFSC	34	51,00%	79,00%	0,57

Fonte: Elaborada pela Autora.

A tabela 27 apresenta a caracterização dos estudantes que responderam o pré e pós-teste do **segundo ciclo**, referente aos estudos dos resistores. Dos 18 alunos do EFA que responderam as avaliações, 67% são do sexo feminino e 35% são do sexo masculino, entre idades de 17 (61%) e 18 anos (39%). Em relação aos estilos de aprendizagem, 22,2% são divergentes, 33,3% assimiladores, 22,2% convergentes e 22,2% são acomodadores.

Em relação à turma do IFSC, dos 28 alunos que responderam os testes, 17,8% são sexo feminino e 82,2% são do sexo masculino, com faixa etária entre 15 e 18 anos. Dos estilos de aprendizagem apresentados, 32,1% são divergentes, 35,7% são assimiladores, 3,6% são convergentes e 21,4% são acomodadores. Dois alunos não responderam ao inventário de Kolb.

Tabela 27 - Caracterização dos estudantes que responderam o pré e pós-teste segundo ciclo

Variáveis	% (Freq)	
	EFA	IFSC
Sexo		
Feminino	67% (12)	17,8% (5)
Masculino	35% (6)	82,2% (23)
Idade		
15 anos	---	60,7% (17)
16 anos	---	35,7% (10)
17 anos	61% (11)	---
18 anos	39% (7)	3,6% (1)
Estilo		
Divergente	22,2% (4)	32,1% (9)
Assimilador	33,3% (6)	35,8% (10)
Convergente	22,2% (4)	3,6% (1)
Acomodador	22,2% (4)	21,4% (6)
Não informado	---	7,1% (2)

Fonte: Elaborada pela Autora.

Traçando uma média geral sobre o aproveitamento dos alunos, a média da avaliação diagnóstica dos alunos do EFA foi de 5,67; já na avaliação conceitual, foi de 7,22 (Tabela 28). Entre os alunos do IFSC, a média da AD foi de 5,53; na AC, de 6,92. Aplicando o Teste t de *Student*, pode-se afirmar que os resultados obtidos, para ambas as turmas, foram estatisticamente significativos, uma vez que os valores de *p* ficaram abaixo de 0,05 (α).

Tabela 28 - Médias e valores do teste t para as avaliações diagnóstica e conceitual do segundo ciclo

	μ AD	Desvio padrão AD	μ AC	Desvio padrão AC	μ da diferença	Valor de <i>t</i>	Valor de <i>p</i>
EFA	5,67	2,45	7,22	2,41	1,52	-3,338	0,004
IFSC	5,53	1,85	6,92	1,82	1,39	-3,021	0,005

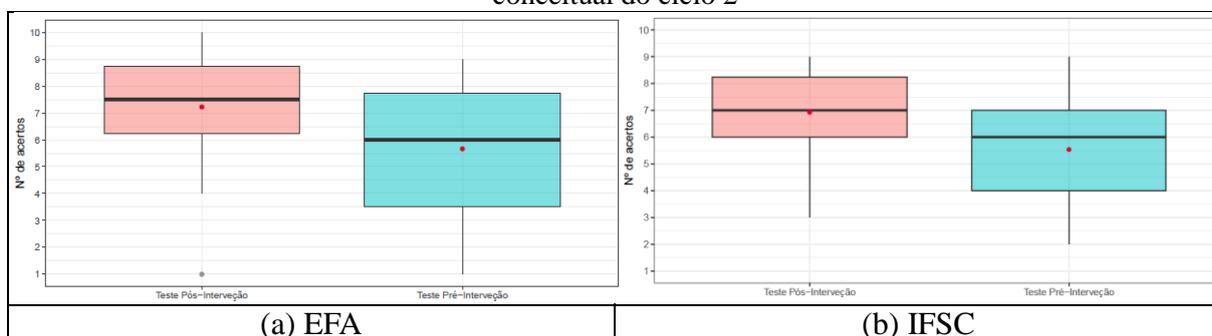
*Nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$)

Fonte: Elaborada pela Autora.

A Figura 52 apresenta os *boxplots* das duas turmas, comparando o número de acertos entre os testes pré e pós intervenção do segundo ciclo. A avaliação diagnóstica da turma do EFA apresenta uma distribuição assimétrica e a avaliação conceitual apresenta uma distribuição simétrica. Observando o gráfico, evidencia-se que o conjunto de dados da AD possui uma maior amplitude quando comparado a AC. As notas na AD ficaram entre 1 e 9 pontos, sem valores *outliers*. O valor mediano da amostra foi de 6, situado mais próxima do terceiro quartil. A amplitude interquartílica foi de 4,25 pontos; a faixa atingida pela maioria dos participantes (50%) foi de 3,50 a 7,75 pontos; 25% dos participantes obtiveram desempenho tão baixo quanto 3,5 pontos e, os outros 25%, tão elevados quanto 7,75 pontos (Tabela 29).

Na AC, o aproveitamento da turma do EFA ficou entre 4 e 10 pontos, com mediana de 7,5, bem próximo do valor médio (7,22) – o que significa que os dados são simétricos. A amplitude interquartílica corresponde a 2,5 pontos, sendo que a maioria dos participantes (50%) obteve desempenho na faixa entre 6,25 e 8,75 pontos; outros 25% obtiveram desempenho tão baixo quanto 6,25 pontos e, os demais 25%, obtiveram desempenho superior a 8,75 pontos.

Figura 52 - Gráfico boxplot para a comparação do número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual do ciclo 2



*As linhas centrais mostram as medianas; os limites da caixa indicam os percentis 25 e 75, conforme determinado pelo *software R*; os traços estendem 1,5 vezes a faixa interquartil dos percentis 25 e 75, os valores extremos (*outliers*) são representados por pontos. a) n = 18 pontos de amostra; b) n = 28 pontos de amostra.

Fonte: Elaborada pela Autora.

Tabela 29 - Estatísticas do gráfico Boxplot do Ciclo 2 (Figura 52)

	EFA		IFSC	
	AD	AC	AD	AC
Máximo do whisker	9.00	10.00	9.00	9.00
3º quartil	7,75	8,75	7,00	8,25
Mediana	6.00	7.50	6.00	7.00
1º quartil	3.50	6.25	4,00	6,00
Mínimo do whisker	1.00	4.00	2.00	3.00
Nº pontos da amostra	18.00	18.00	28.00	28.00

Fonte: Elaborada pela Autora.

Em relação à turma de alunos do IFSC, as notas na AD ficaram entre 2 e 9 pontos (sem *outlier*). O valor mediano da amostra foi de 6, situado mais próximo do terceiro quartil. A amplitude interquartílica corresponde a 3 pontos, sendo que a maioria dos participantes (50%) obteve desempenho na faixa entre 4 e 7 pontos; outros 25% obtiveram desempenho tão baixo quanto 5 pontos e, os demais 25%, tão elevados quanto 7 pontos. Na AC, o aproveitamento da turma ficou entre 3 e 9 pontos (sem *outliers*). A mediana foi de 7, situada ao centro – o que demonstra simetria dos dados. A amplitude interquartílica da AC foi de 2 pontos, sendo que a maioria dos participantes (50%) obteve desempenho na faixa entre 6 e 9 pontos; outros 25% obtiveram desempenho tão baixo quanto 6 pontos e, os demais 25%, tão elevados quanto 9 pontos.

Quanto à progressão entre as avaliações, dos 18 alunos do EFA, um aluno não apresentou progressão entre as avaliações diagnóstica e conceitual. Entre os alunos do IFSC, esse número ficou em 10; desses, quatro alunos obtiveram nota menor na avaliação conceitual, quando comparada com a nota da AD.

O ganho normatizado da turma do EFA, segundo o teste de Hake, foi de $g = 0,41$; já da turma do IFSC foi de $g = 0,42$, conforme apresentado na Tabela 30. Segundo os critérios de Hake (1998), observa-se que as turmas obtiveram um ganho médio ($0,30 \leq g < 0,70$), com valor um pouco mais baixo do que os resultados obtidos no ciclo 1. Nesse sentido, vale ressaltar que os alunos apresentaram um desempenho melhor nas duas avaliações (AD e AC) do ciclo 2, motivo pelo qual o ganho de Hake tenha ficado mais baixo quando comparado com o ciclo 1. Isso se dá, principalmente, devido ao conhecimento adquirido no primeiro ciclo, que serve como base para o conteúdo a ser explorado nos demais ciclos de aprendizagem.

Tabela 30 - Resumo dos resultados do ganho normalizado de Hake do segundo ciclo

Ciclo 2		Pré-teste	Pós-teste	Ganho normalizado
	<i>n</i>	% de acertos	% de acertos	$(\%Pós - \%Pré) / (100 - \%Pré)$
EFA	18	56,00%	74,00%	0,41
IFSC	28	53,00%	73,00%	0,42

Fonte: Elaborada pela Autora.

A tabela 31 apresenta a caracterização dos estudantes que responderam o pré e pós-teste do **terceiro ciclo**, referente à associação de resistores. Entre os alunos do EFA, a taxa de participação em ambos os testes foi de apenas 56,52% (13 alunos). Quando questionados sobre os motivos por não participarem dos testes do ciclo 3, os estudantes afirmaram que, por ser fim de semestre e eles terem muitas avaliações e compromissos de fechamento do ensino médio, não tiveram tempo para se dedicar aos testes. Dos 13, 77% são do sexo feminino e 23% do sexo

masculino, com idades de 17 (62%) a 18 anos (38%). Em relação aos estilos de aprendizagem, 23,0% são divergentes, 30,8% assimiladores, 30,8% convergentes e 15,4% são acomodadores.

Tabela 31 - Caracterização dos estudantes do EFA que responderam o pré e pós-teste terceiro ciclo

Variáveis	% (Freq)	
	EFA	IFSC
Sexo		
Feminino	77% (10)	25,0% (8)
Masculino	23% (3)	75,0% (24)
Idade		
15 anos	---	53,1% (17)
16 anos	---	46,9% (15)
17 anos	62% (8)	---
18 anos	38% (5)	---
Estilo		
Divergente	23,0% (3)	31,2% (10)
Assimilador	30,8% (4)	40,6% (13)
Convergente	30,8% (4)	6,3% (2)
Acomodador	15,4% (2)	18,8% (6)
Não informado	---	3,1% (1)

Fonte: Elaborada pela Autora.

Já entre os alunos do IFSC, 32 responderam aos testes; desses, 25% são sexo feminino e 75% são do sexo masculino, com idades de 15 a 16 anos. Em relação aos estilos de aprendizagem, 31,2% são divergentes, 40,6% são assimiladores, 6,3% são convergentes e 18,8% são acomodadores.

Traçando a média geral sobre o aproveitamento dos alunos, entre os alunos do EFA a média inicial foi de 5,80; já na avaliação conceitual os alunos obtiveram uma média de 7,19 (Tabela 32). Entre os alunos do IFSC, a média da AD foi de 5,74 e na avaliação conceitual foi de 7,48. Aplicando o Teste t de *Student*, pode-se afirmar que os resultados obtidos, em ambas as turmas, foram estatisticamente significativos ($p < 0,05$).

Tabela 32 - Médias e valores do teste t de Student para as avaliações diagnóstica e conceitual ciclo 3

	μ AD	Desvio padrão AD	μ AC	Desvio padrão AC	μ da diferença	Valor de t	Valor de p
EFA	5,80	2,50	7,19	2,02	1,92	-2,893	0.013
IFSC	5,74	2,35	7,48	2,03	1,59	-3,923	0.000

*Nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$)

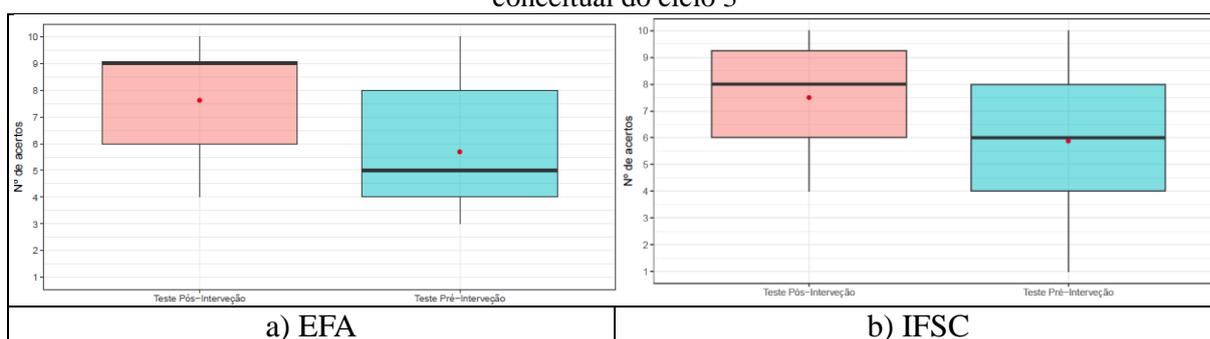
Fonte: Elaborada pela Autora.

A Figura 53 apresenta o *boxplots* das duas turmas, comparando o número de acertos entre o teste pré e pós-intervenção no terceiro ciclo. Os conjuntos de dados pré e pós-

intervenção da turma EFA apresentam uma distribuição assimétrica. As notas na AD ficaram entre 3 e 10 pontos, não apresentando *outlier*. O valor mediano da amostra foi de 5, situado próximo do primeiro quartil. A amplitude interquartílica corresponde a 4 pontos, sendo que a maioria dos participantes (50%) obteve desempenho na faixa entre 4 e 8 pontos; outros 25% dos participantes obtiveram desempenho tão baixo quanto 4 pontos e, os demais 25%, tão elevados quanto 8 pontos.

Na avaliação conceitual, o aproveitamento da turma ficou entre 4 e 10 pontos, com mediana de 9, situando-se no início do terceiro quartil – metade da turma teve um desempenho inferior a 9 pontos, e a outra metade obteve desempenho igual a 9 pontos. A amplitude interquartílica corresponde a 3 pontos. A reta vertical a baixo da caixa da amplitude demonstra que 25% dos participantes obtiveram desempenho a baixo de 6 pontos, e a reta acima demonstra que 25% dos participantes obtiveram desempenho a cima de 9 pontos.

Figura 53 - Gráfico boxplot para a comparação do número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual do ciclo 3



*As linhas centrais mostram as medianas; os limites da caixa indicam os percentis 25 e 75, conforme determinado pelo *software R*; os traços estendem 1,5 vezes a faixa interquartil dos percentis 25 e 75, os valores extremos (*outliers*) são representados por pontos. a) n = 13 pontos de amostra; b) n = 31 pontos de amostra.

Fonte: Elaborada pela Autora.

Tabela 33 - Estatísticas do gráfico Boxplot (Figura 53)

	EFA		IFSC	
	AD	AC	AD	AC
Máximo do whisker	10.00	10.00	9.00	10.00
3º quartil	8.00	9.00	8.00	9.50
Mediana	5.00	9.00	6.00	8.00
1º quartil	4.00	6.00	4.00	6.00
Mínimo do whisker	3.00	4.00	1.00	4.00
Nº pontos da amostra	13	13	31	31

Fonte: Elaborada pela Autora.

Em relação aos alunos do IFSC, as notas na AD ficaram entre 4 e 9 pontos (sem *outlier*). O valor mediano da amostra foi de 6, situado no centro, o que demonstra que os dados são simétricos. A amplitude interquartílica corresponde a 4 pontos, sendo que a maioria dos

participantes (50%) obteve desempenho na faixa entre 4 e 8 pontos; outros 25% obtiveram desempenho tão baixo quanto 4 pontos e, os demais 25%, tão elevados quanto 8 pontos.

Na avaliação conceitual, o aproveitamento da turma ficou entre 4 e 10 pontos (sem *outliers*). A mediana foi de 8, situada próxima do terceiro quartil. A amplitude interquartílica da AC foi de 3,5 pontos. A maioria dos participantes (50%) obteve desempenho na faixa entre 6 e 9,5 pontos; outros 25% obtiveram desempenho tão baixo quanto 6 pontos e, os demais 25%, tão elevados quanto 9,5 pontos.

O ganho normalizado da turma do EFA, segundo o teste de Hake, foi de 0,52; já da turma do IFSC foi de 0,49, como apresenta a Tabela 34. Conforme os critérios de Hake (1998), observa-se que as turmas, assim como nos ciclos anteriores, obtiveram um ganho médio ($0,30 \leq g < 0,70$).

Tabela 34 - Resumo dos resultados do ganho normalizado de Hake do Ciclo 3

Ciclo 3		Pré-teste	Pós-teste	Ganho normalizado
	<i>n</i>	% de acertos	% de acertos	$(\%Pós-\%Pré)/(100/\%Pré)$
EFA	13	54,00%	78,00%	0,52
IFSC	31	55,00%	77,00%	0,49

Fonte: Elaborada pela Autora.

Quanto à progressão entre as avaliações, dos 13 alunos do EFA, dois não apresentaram progressão entre as avaliações diagnóstica e conceitual. Já entre os alunos do IFSC esse número foi de 11 – desses, seis alunos obtiveram a nota da AC menor que a nota da AD.

4.4.3.2 Resultados do desempenho conceitual geral

Como mencionado na seção 4.4.1, o conteúdo de circuitos elétricos foi trabalhado com os alunos a partir de três ciclos de aprendizagem experiencial, na forma de uma espiral, permitindo a progressão na complexidade dos conceitos trabalhados com os estudantes. Com isso, nesta seção, será apresentada a análise dos dados obtidos a partir das avaliações diagnóstica e conceitual geral dos alunos, que foram aplicadas no início (pré-teste) e final (pós-teste) do semestre, contemplando todo o conteúdo de circuitos elétricos.

Assim como para a análise dos resultados de cada ciclo, a evolução da turma ao fim da implementação dos ciclos de aprendizagem experiencial propostos foi medida pelo teste estatístico t de *Student*, por estatística descritiva utilizando gráficos do tipo *boxplot*, pelo parâmetro de ganho normalizado de Hake (1998). Primeiramente, serão apresentados os resultados do 3º ano do ensino médio do EFA.

A Tabela 35 apresenta a caracterização dos 21 estudantes que responderam o pré e o

pós-teste geral. Entre eles, 62% são do sexo feminino e 38% são do sexo masculino, com idades de 17 (52%) a 18 anos (38%). Em relação aos estilos de aprendizagem, 28,57% são divergentes; 33,33%, assimiladores; 19,05%, convergentes, e; 19,05%, acomodadores.

Tabela 35 - Caracterização dos estudantes do EFA que responderam o pré e pós-teste geral

Variáveis	% (Freq.)
Sexo	
Feminino	62% (13)
Masculino	38% (8)
Idade	
17 anos	52% (11)
18 anos	38% (8)
Estilo	
Divergente	28,5% (6)
Assimilador	33,3% (7)
Convergente	19,1% (4)
Acomodador	19,1% (4)

Fonte: Elaborada pela Autora.

Diferentemente das avaliações de cada ciclo, a avaliação geral possuía 15 questões de múltipla escolha. Dessa forma, a média geral sobre o aproveitamento dos alunos referente à avaliação diagnóstica foi de 6,09; já na avaliação conceitual os alunos obtiveram uma média de 11,14 (Tabela 36). Aplicando o Teste t de *Student*, pode-se afirmar que o resultado obtido foi estatisticamente significativo, uma vez que *p* apresentou valor de 0,000 ($\alpha = 0,05$).

Tabela 36 - Médias e valores do teste t de Student para as avaliações diagnóstica e conceitual

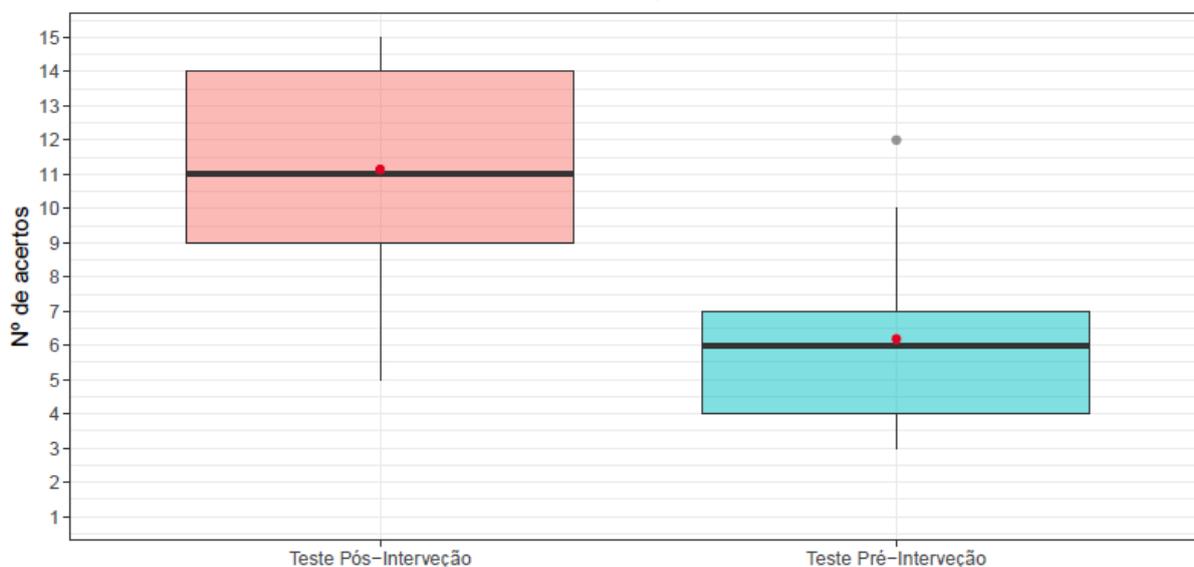
μ AD	Desvio padrão AD	μ AC	Desvio padrão AC	μ da diferença	Valor de <i>p</i>
6,09	2,35	11,14	3,13	4,95	0,000

*Nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$)

Fonte: Elaborada pela Autora.

A Figura 54 apresenta o *boxplots* comparando o número de acertos entre o teste pré e pós-intervenção. Ambos os conjuntos de dados apresentam uma distribuição assimétrica. O conjunto de dados da AD possui menor amplitude quando comparado a AC (Figura 54 – Tabela 37). As notas na AD ficaram entre 3 e 10 pontos, apresentando um *outlier*. O valor mediano da amostra foi de 6, mais próxima do terceiro quartil. A amplitude interquartilica corresponde a 3 pontos, sendo que a maioria dos participantes (50%) obteve desempenho na faixa entre 4 e 7 pontos.

Figura 54 - Gráfico boxplot para a comparação do número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual geral



*As linhas centrais mostram as medianas; os limites da caixa indicam os percentis 25 e 75, conforme determinado pelo *software* R; os traços estendem 1,5 vezes a faixa interquartil dos percentis 25 e 75, os valores extremos (*outliers*) são representados por pontos. n = 21 pontos de amostra.

Fonte: Elaborada pela Autora.

Tabela 37 - Estatísticas do gráfico Boxplot da avaliação geral (Figura 54)

	Avaliação Diagnóstica – AD	Avaliação Conceitual – AC
Máximo do whisker	10.00	15.00
3º quartil	7.00	14.00
Mediana	6.00	11.00
1º quartil	4.00	9.00
Mínimo do whisker	3.00	5.00
Nº pontos da amostra	21	21

Fonte: Elaborada pela Autora.

Na avaliação conceitual, o aproveitamento da turma ficou entre 5 e 15 pontos, com mediana de 11, situada mais próximo do primeiro quartil – metade da turma teve um desempenho inferior a 11 pontos, e a outra metade obteve desempenho igual ou superior a 11 pontos. A amplitude interquartilica corresponde a 5 pontos, sendo que a maioria dos participantes (50%) obteve desempenho na faixa entre 9 e 14 pontos; 25% dos participantes obtiveram desempenho tão baixo quanto 9 pontos e, os demais 25%, obtiveram desempenho maior ou igual a 14 pontos. Dessa forma, evidencia-se que a turma obteve um progresso na compreensão do conteúdo explorado, já que a maioria das notas ficaram acima das notas mais altas da avaliação diagnóstica. Dos 21 alunos da amostra, um aluno não apresentou progressão entre as avaliações diagnóstica e conceitual.

Aplicando o teste de ganho normatizado proposto por Hake, foi possível evidenciar um ganho de 0,60 – o que pode se considerar um ganho médio, como recomendado por Hake (1998)

($g < 0,30$ e $\geq 0,70$). Os resultados dos cálculos do ganho de Hake estão apresentados na Tabela 38.

Tabela 38 - Resumo dos resultados do ganho normalizado de Hake avaliação geral

		Pré-teste	Pós-teste	Ganho normalizado
<i>Geral</i>	<i>n</i>	<i>% de acertos</i>	<i>% de acertos</i>	<i>(%Pós-%Pré)/(100/%Pré)</i>
	21	39%	76%	0,60

Fonte: Elaborada pela Autora.

A Tabela 39 apresenta a caracterização dos estudantes que responderam o pré e pós-teste geral do curso técnico em Eletromecânica do IFSC. Entre os 26 alunos que responderam os testes, 19,2% são do sexo feminino e 80,8% são do sexo masculino, com idades de 15 a 16 anos. Em relação aos estilos de aprendizagem, 23,1% são divergentes; 34,6%, assimiladores; 11,5%, convergentes, e; 26,9%, acomodadores.

Tabela 39 - Caracterização dos estudantes do IFSC que responderam o pré e pós-teste geral

Variáveis	% (Freq)
Sexo	
Feminino	19,2% (5)
Masculino	80,8% (21)
Idade	
15 anos	65,4% (11)
16 anos	34,6% (8)
+16 anos	0% (0)
Estilo	
Divergente	23,1% (6)
Assimilador	34,6% (9)
Convergente	11,5% (3)
Acomodador	26,9% (7)
Não informado	3,8% (1)

Fonte: Elaborada pela Autora.

A avaliação geral dos alunos do IFSC era composta por 12 questões de múltipla escolha. Dessa forma, a média geral do aproveitamento dos alunos referente à avaliação diagnóstica foi de 4,92; já na avaliação conceitual os alunos obtiveram uma média de 8,53 (Tabela 40). Aplicando o Teste t de *Student*, pode-se afirmar que o resultado obtido foi estatisticamente significativo, uma vez que p apresentou valor de 0,000 ($\alpha = 0,05$).

Tabela 40 - Médias e valores do teste t de Student para as avaliações diagnóstica e conceitual

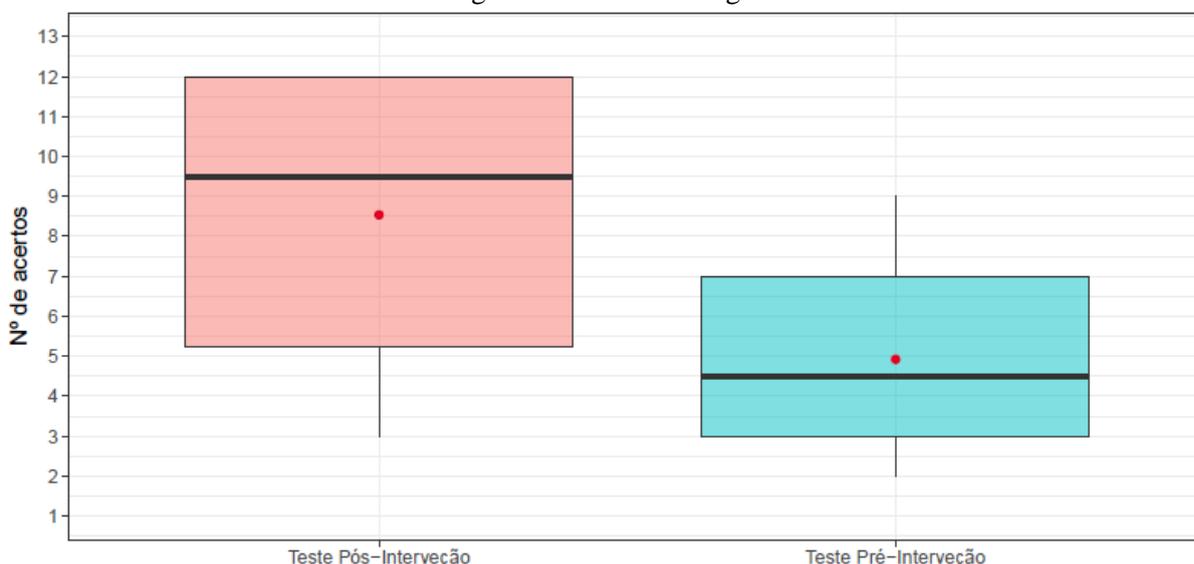
μ AD	Desvio padrão AD	μ AC	Desvio padrão AC	μ da diferença	Valor de p
4,92	2,20	8,53	3,29	3,75	0,000

*Nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$)

Fonte: Elaborada pela Autora.

A Figura 55 apresenta o *boxplots* comparando o número de acertos entre o teste pré e pós-intervenção. Ambos os conjuntos de dados apresentam uma distribuição assimétrica. O conjunto de dados da AD possui menor amplitude quando comparado a AC. As notas na AD ficaram entre 2 e 9 pontos. O valor mediano da amostra foi de 4,5, mais próxima do primeiro quartil. A amplitude interquartílica corresponde a 4 pontos, sendo que a maioria dos participantes (50%) obteve desempenho na faixa entre 3 e 7 pontos; 25% dos participantes obtiveram desempenho tão baixo quanto 3 pontos e, os outros 25%, tão elevados quanto 7 pontos.

Figura 55 - Gráfico de boxplot para a comparação do número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual geral



*As linhas centrais mostram as medianas; os limites da caixa indicam os percentis 25 e 75, conforme determinado pelo *software R*; os traços estendem 1,5 vezes a faixa interquartil dos percentis 25 e 75, os valores extremos (*outliers*) são representados por pontos. n = 26 pontos de amostra.

Fonte: Elaborada pela Autora.

Tabela 41 - Estatísticas do gráfico Boxplot da avaliação geral (Figura 55)

	Avaliação Diagnóstica - AD	Avaliação Conceitual - AC
Máximo do whisker	9.00	12.00
3º quartil	7.00	12.00
Mediana	4.50	9.50
1º quartil	3.00	5.25
Mínimo do whisker	2.00	3.00
Nº pontos da amostra	26	26

Fonte: Elaborada pela Autora.

Na avaliação conceitual, o aproveitamento da turma ficou entre 3 e 12 pontos, com mediana de 9,5, situada mais perto do primeiro quartil. A amplitude interquartílica corresponde a 6,75 pontos, sendo que a maioria dos participantes (50%) obteve desempenho na faixa entre

5,25 e 12 pontos. Dos 26 alunos da amostra, sete alunos não apresentaram progressão entre as avaliações diagnóstica e conceitual; destes, quatro obtiveram notas menores na avaliação conceitual quando comparadas com as notas da AD.

Aplicando o teste de ganho normatizado proposto por Hake, foi possível evidenciar um ganho de 0,62; portanto, considerado um ganho médio, como recomendado por Hake (1998) ($g < 0,30$ e $\geq 0,70$). Os resultados dos cálculos do ganho de Hake seguem na Tabela 42.

Tabela 42 - Resumo dos resultados do ganho normalizado de Hake – Avaliação geral

		Pré-teste	Pós-teste	Ganho normalizado
<i>Geral</i>	<i>n</i>	<i>% de acertos</i>	<i>% de acertos</i>	<i>(%Pós-%Pré)/(100/%Pré)</i>
	26	39%	77%	0,62

Fonte: Elaborada pela Autora.

Os ganhos normativos encontrados entre as avaliações (de cada ciclo e geral) ficaram entre 0,40 e 0,62. Conforme estudo realizado por Hake (1998) com 6.542 alunos de diferentes níveis escolares, esses valores de g são compatíveis com resultados para turmas submetidas a métodos de engajamento interativo; ou seja, métodos que promovem a compreensão conceitual a partir do envolvimento interativo em atividades práticas (HAKE, 1998).

4.4.3.3 *Estilo de aprendizagem e desempenho conceitual*

A fim de responder a segunda questão de pesquisa: *O uso dos Laboratórios Remoto, Virtual e Remoto Aumentado, inseridos em um Ciclo de Kolb, contribui igualmente para a melhora no desempenho conceitual de alunos de diferentes estilos de aprendizagem?* Foram analisados os resultados dos testes conceituais conforme os estilos de aprendizagem. Para isso, foram utilizados testes estatísticos e análise descritiva dos dados. Os resultados são apresentados nas próximas seções, divididas por unidade de análise.

4.4.3.3.1 *Desempenho conceitual por estilo de aprendizagem dos alunos do 3º ano do ensino médio do Centro de Educação Básica Francisco de Assis*

A Tabela 43 apresenta os resultados estatísticos para cada estilo da turma de alunos do EFA, bem como os valores de média e mediana para cada avaliação, diagnóstica e conceitual.

Tabela 43 - Valores médios e resultados do teste t de Student para a AD e AC

Estilo	Média			Mediana			P	Teste
	AD	AC	dif.	AD	AC	dif.		
Acomodador	5,25	9,75	4,50	4,50	9,50	5,00	0,042*	T pareado
Assimilador	6,14	11,57	5,43	5,00	11,00	6,00	0,034*	Wilcoxon pareado
Convergente	8,25	12,50	4,25	8,00	12,50	4,50	0,053	T pareado
Divergente	5,50	10,67	5,17	5,50	11,50	5,00	0,002*	T pareado

*Nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$)

Fonte: Elaborada pela Autora.

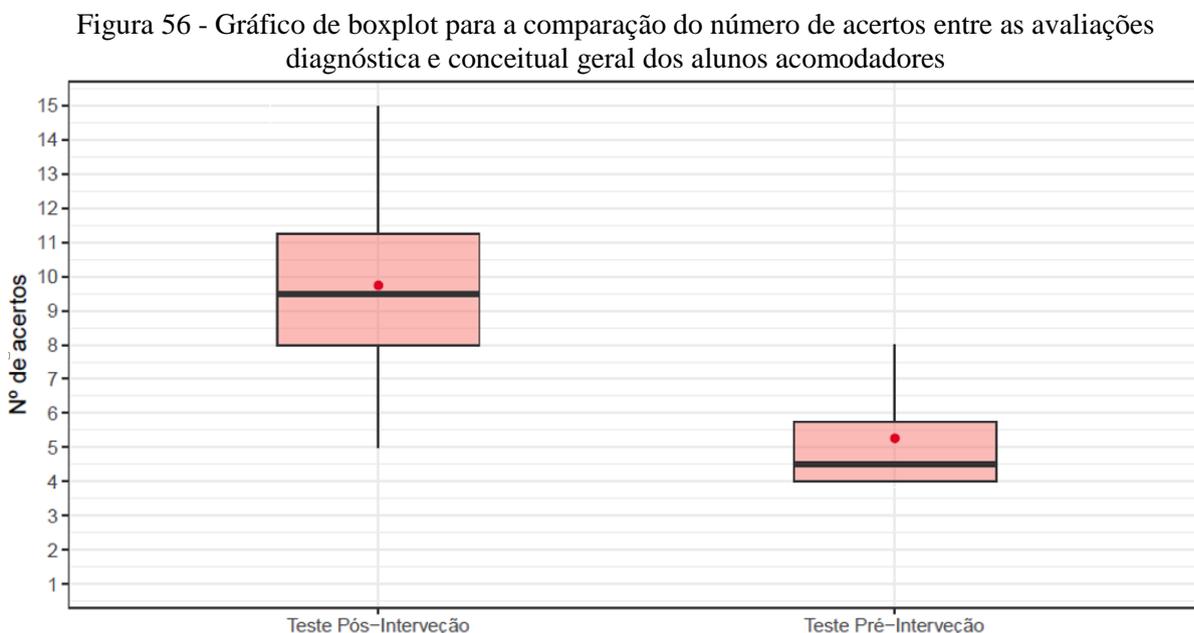
Os testes para os estilos Acomodador, Assimilador e Divergente mostram que a diferença entre os acertos das avaliações diagnóstica e conceitual é estatisticamente significativa, com o $p < 0,05$. Os alunos do estilo Acomodador obtiveram uma média na avaliação diagnóstica de 5,25 pontos; já na avaliação conceitual a média ficou em 9,75 pontos, obtendo assim uma evolução média de 4,50. O teste-t com quatro observações analisadas apresentou um valor de $p = 0,042$, sendo considerada uma diferença estatisticamente significativa, utilizando o nível de significância de 5%.

Para o estilo Assimilador, foi utilizado o teste Wilcoxon pareado, devido à amostra não possuir uma distribuição normal. O resultado evidenciou, igualmente, uma diferença estatisticamente significativa, com valor de $p = 0,034$, com sete observações analisadas. A mediana dos acertos da avaliação conceitual é superior à mediana amostral dos acertos da avaliação diagnóstica em 6 pontos. Da mesma forma, os alunos Divergentes obtiveram um resultado estatisticamente significativo a partir do teste-t pareado, com valor de $p = 0,002$, com seis observações analisadas. A média dos acertos da AC é superior à média amostral dos acertos da AD em média 5,17.

Por outro lado, o teste-t pareado realizado com os dados dos alunos Convergentes não apresentou um resultado estatisticamente significativo, apresentando um valor de $p = 0,053$, com quatro observações analisadas. Vale ressaltar que os alunos convergentes do EFA apresentaram os valores de média e mediana, em ambas as avaliações, mais altos entre os quatro estilos de aprendizagem, possuindo a menor média da diferença (4,25) – o que se reflete no resultado do teste estatístico.

É importante destacar que, devido ao número da amostra, os testes estatísticos podem apresentar pouca precisão; ou seja, é necessária uma média/mediana da diferença significativa para apontar a rejeição da hipótese nula (H_0), o que pode não representar a realidade da população que os dados indicam. Pensando nisso, foi realizada uma análise descritiva dos dados, bem como a aplicação da fórmula de ganho de Hake, como será apresentado a seguir.

A Figura 56 apresenta um gráfico tipo *boxplot* comparando o número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual dos alunos **acomodadores** e a Tabela 44 apresenta as estatísticas do gráfico.



*As linhas centrais mostram as medianas; os limites da caixa indicam os percentis 25 e 75, conforme determinado pelo *software* R; os traços estendem 1,5 vezes a faixa interquartil dos percentis 25 e 75, os valores extremos (*outliers*) são representados por pontos. n = 4 pontos de amostra.

Fonte: Elaborada pela Autora.

Tabela 44 - Estatísticas do gráfico *Boxplot* da avaliação geral (Figura 56)

	Avaliação Diagnóstica – AD	Avaliação Conceitual – AC
Máximo do whisker	8.00	15.00
3º quartil	5.75	11.25
Mediana	4.50	9.50
1º quartil	4.00	8.00
Mínimo do whisker	4.00	5.00
Nº pontos da amostra	4	4

Fonte: Elaborada pela Autora.

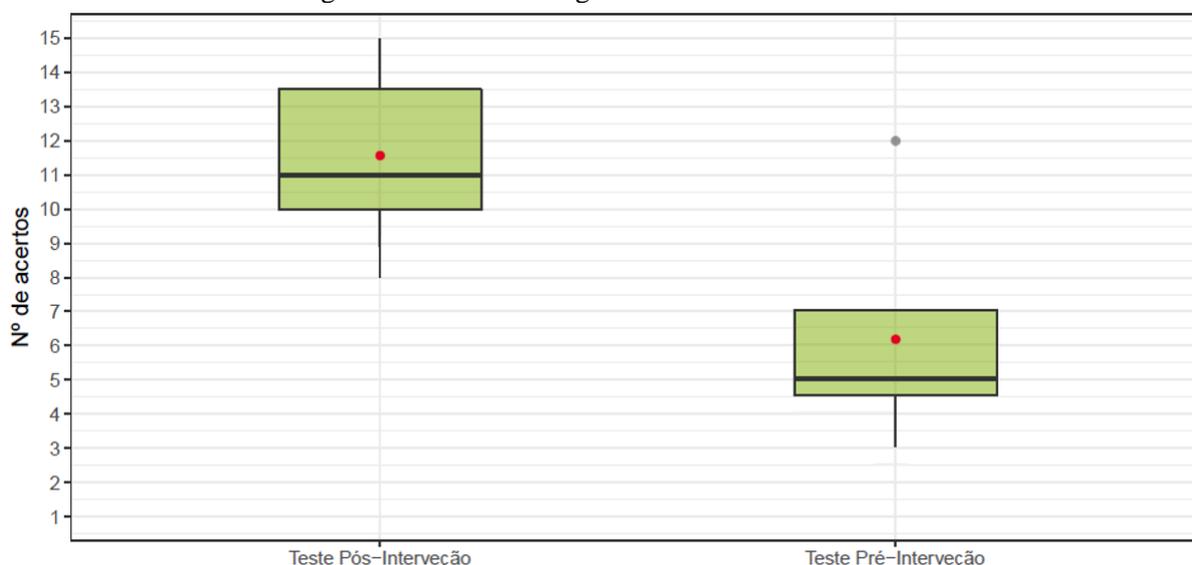
Como pode ser observado no gráfico, o conjunto de dados da avaliação diagnóstica possui menor amplitude quando comparado à avaliação conceitual. As notas na AD ficaram entre 4 e 8 pontos. O valor mediano da amostra foi de 4,50, mais perto do primeiro quartil. A amplitude interquartílica corresponde a 1,75 ponto, sendo que a maioria dos participantes (50%) obteve desempenho na faixa entre 4 e 5,75 pontos; 25% dos participantes obtiveram desempenho igual ou acima de 5,75 pontos e, os demais 25%, igual a 4 pontos.

Por outro lado, na avaliação conceitual, o aproveitamento da turma ficou entre 8 e 15 pontos, com mediana de 9,50. A amplitude interquartílica corresponde a 3,25 pontos, sendo que

a maioria dos participantes (50%) obteve desempenho na faixa entre 8 e 11,25 pontos; 25% dos participantes obtiveram desempenho igual ou mais baixo que 8 pontos e, os outros 25%, tiveram desempenho maior ou igual a 11,25 pontos. Evidencia-se que os alunos acomodadores obtiveram um progresso na compreensão do conteúdo explorado, já que a maioria das notas ficou acima das notas mais altas da avaliação diagnóstica. Além disso, todos os alunos acomodadores apresentaram progressão entre as avaliações diagnóstica e conceitual.

A Figura 57 apresenta um gráfico tipo *boxplot* comparando o número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual dos alunos **assimiladores** e a Tabela 45 apresenta as estatísticas do gráfico.

Figura 57 - Gráfico de boxplot para a comparação do número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual geral dos alunos assimiladores



*As linhas centrais mostram as medianas; os limites da caixa indicam os percentis 25 e 75, conforme determinado pelo *software R*; os traços estendem 1,5 vezes a faixa interquartil dos percentis 25 e 75, os valores extremos (*outliers*) são representados por pontos. n = 7 pontos de amostra.

Fonte: Elaborada pela Autora.

Tabela 45 - Estatísticas do gráfico Boxplot da avaliação geral – Assimilador (Figura 57)

	Avaliação Diagnóstica – AD	Avaliação Conceitual – AC
Máximo do whisker	7.00	15.00
3º quartil	7.00	13.50
Mediana	5.00	11.00
1º quartil	4.50	10.00
Mínimo do whisker	3.00	8.00
Nº pontos da amostra	7	7

Fonte: Elaborada pela Autora.

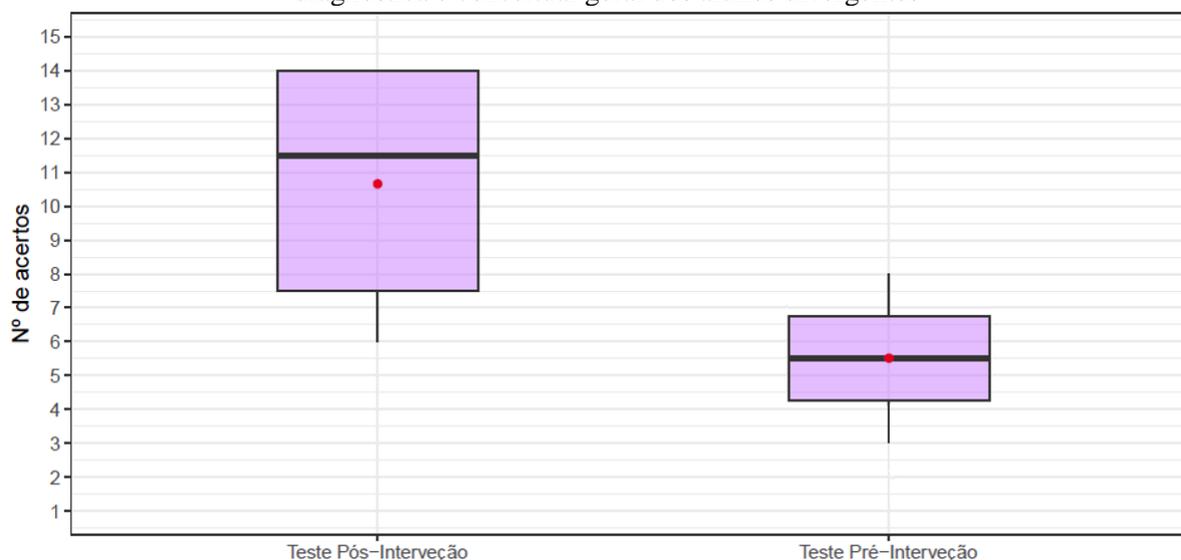
O conjunto de dados da avaliação diagnóstica possui menor amplitude quando comparado à avaliação conceitual. As notas na AD ficaram entre 3 e 7 pontos. O valor mediano

da amostra foi de 5,00, mais perto do primeiro quartil. A amplitude interquartílica corresponde a 2,50 pontos, sendo que a maioria dos participantes (50%) obteve desempenho na faixa entre 4,50 e 7,00 pontos; 25% dos participantes obtiveram desempenho tão baixo quanto 4,50 e, os demais 25%, tiveram desempenho igual a 7 pontos.

Na avaliação conceitual, o aproveitamento da turma ficou entre 8 e 15 pontos, com mediana de 11,00, mais próxima do primeiro quartil. A amplitude interquartílica corresponde a 3,50 pontos, sendo que a maioria dos participantes (50%) obteve desempenho na faixa entre 10 e 13,50 pontos. A reta vertical abaixo da caixa da amplitude demonstra que 25% dos participantes obtiveram desempenho a baixo de 10 pontos; e a reta acima demonstra que 25% dos participantes obtiveram desempenho maior ou igual a 13,50 pontos. Da mesma forma, os alunos assimiladores, de modo geral, apresentaram progresso na compreensão do conteúdo estudado. Um aluno não apresentou progressão na avaliação conceitual. Entretanto, as demais notas ficaram acima das notas mais altas da avaliação diagnóstica.

A Figura 58 apresenta um gráfico tipo *boxplots* comparando o número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual dos alunos **divergentes** e a Tabela 46 apresenta as estatísticas do gráfico.

Figura 58 - Gráfico de boxplot para a comparação do número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual geral dos alunos divergentes



*As linhas centrais mostram as medianas; os limites da caixa indicam os percentis 25 e 75, conforme determinado pelo *software R*; os traços estendem 1,5 vezes a faixa interquartil dos percentis 25 e 75, os valores extremos (*outliers*) são representados por pontos. n = 6 pontos de amostra.

Fonte: Elaborada pela Autora.

Tabela 46 - Estatísticas do gráfico Boxplot da avaliação geral – Divergente (Figura 58)

	Avaliação Diagnóstica – AD	Avaliação Conceitual – AC
Máximo do whisker	8.00	14.00
3º quartil	6.75	14.00
Mediana	5.50	11.50
1º quartil	4.25	7.50
Mínimo do whisker	3.00	6.00
Nº pontos da amostra	6	6

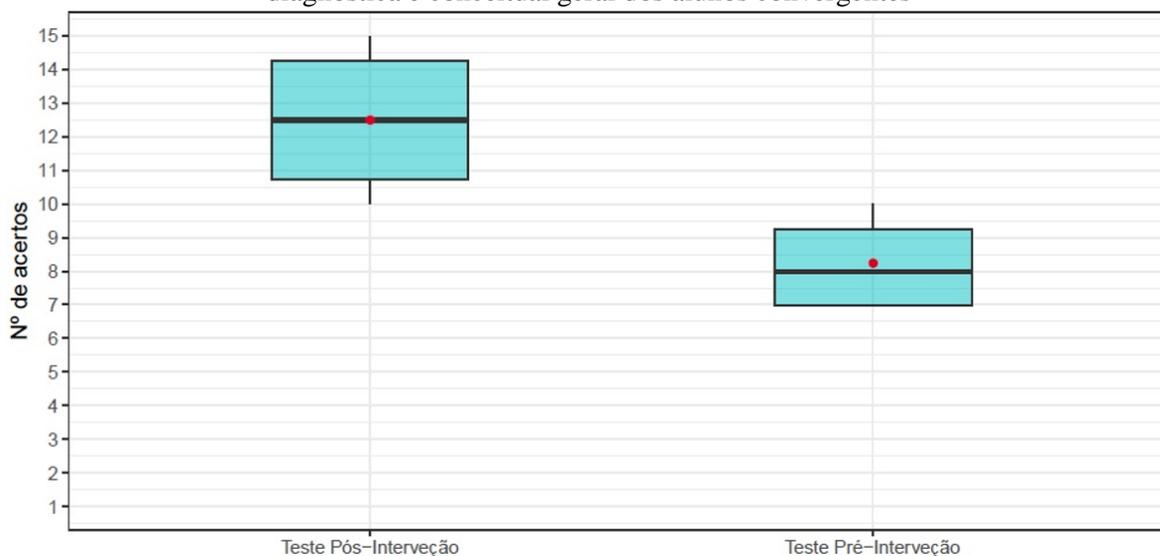
Fonte: Elaborada pela Autora.

As notas na AD ficaram entre 3 e 6,75 pontos. O valor mediano da amostra foi de 5,50, posicionado no centro do retângulo – o que significa que os dados são simétricos. A amplitude interquartílica corresponde a 2,50 pontos, sendo que a maioria dos participantes (50%) obteve desempenho na faixa entre 4,25 e 6,75 pontos. A reta vertical abaixo da caixa da amplitude demonstra que 25% dos participantes tiveram desempenho tão baixo quanto 4,25 pontos; os outros 25%, obtiveram nota igual ou acima de 6,75 pontos.

Na avaliação conceitual, o aproveitamento da turma ficou entre 7,50 e 14 pontos, com mediana de 11,50, mais próxima do terceiro quartil. A amplitude interquartílica corresponde a 6,50 pontos (50% obteve desempenho entre 7,50 e 14,00), a maior entre todos os estilos de aprendizagem – o que demonstra que os dados são mais dispersos quando comparados com os demais estilos. É importante destacar que todos os alunos divergentes apresentaram progressão entre as avaliações diagnóstica e conceitual.

A Figura 59 apresenta um gráfico tipo *boxplot* comparando o número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual dos alunos **convergentes** e a Tabela 47 apresenta as estatísticas do gráfico.

Figura 59 - Gráfico de boxplot para a comparação do número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual geral dos alunos convergentes



*As linhas centrais mostram as medianas; os limites da caixa indicam os percentis 25 e 75, conforme determinado pelo *software R*; os traços estendem 1,5 vezes a faixa interquartil dos percentis 25 e 75, os valores extremos (*outliers*) são representados por pontos. n = 4 pontos de amostra.

Fonte: Elaborada pela Autora.

Tabela 47 – Estatísticas do gráfico Boxplot da avaliação geral – Convergente (Figura 59)

	Avaliação Diagnóstica – AD	Avaliação Conceitual – AC
Máximo do whisker	10.00	15.00
3º quartil	9.25	14.25
Mediana	8.00	12.50
1º quartil	7.00	10.75
Mínimo do whisker	7.00	10.00
Nº pontos da amostra	4	4

Fonte: Elaborada pela Autora.

Da mesma forma que os demais estilos de aprendizagem, o conjunto de dados da avaliação diagnóstica possui menor amplitude quando comparado à avaliação conceitual. As notas na avaliação diagnóstica ficaram entre 7 e 10 pontos. O valor mediano da amostra foi de 8,00 – o mais alto entre os estilos de aprendizagem. Os dados são positivamente assimétricos. A amplitude interquartilica corresponde a 2,75 pontos, sendo que a maioria dos participantes (50%) obteve desempenho na faixa entre 7 e 9,25 pontos. A reta vertical acima da caixa demonstra, ainda, que 25% dos participantes obtiveram desempenho igual ou acima de 9,25 pontos.

Por outro lado, na avaliação conceitual, o aproveitamento da turma ficou entre 10 e 15 pontos, com mediana de 12,50. A amplitude interquartilica corresponde a 3,50 pontos, sendo que a maioria dos participantes (50%) obteve desempenho na faixa entre 10,75 e 14,25 pontos. A reta vertical abaixo da caixa da amplitude demonstra que 25% dos participantes obtiveram desempenho igual ou mais baixo que 10,75 pontos; e a reta acima demonstra que 25% dos

participantes obtiveram desempenho maior ou igual a 14,25 pontos. Evidencia-se que todas as notas da AC ficaram acima das notas mais altas da avaliação diagnóstica.

A fim de melhor entender a relação entre o desempenho conceitual e os estilos de aprendizagem, também foram analisados os dados a partir da fórmula Ganho de Hake. A Tabela 48 apresenta os resultados dos cálculos do ganho de Hake para cada um dos estilos de aprendizagem.

Tabela 48 - Resumo dos resultados do ganho normalizado de Hake por estilo de aprendizagem

		Pré-teste	Pós-teste	Ganho normalizado
<i>Estilo</i>	<i>n</i>	<i>% de acertos</i>	<i>% de acertos</i>	<i>(%Pós-%Pré)/(100/%Pré)</i>
Acomodador	4	35%	65%	0,46
Assimilador	7	35%	73%	0,58
Divergente	6	41%	74%	0,56
Convergente	4	42%	75%	0,57

Fonte: Elaborada pela Autora.

Todos os estilos de aprendizagem obtiveram um ganho médio ($0,30 > g \leq 0,70$), sendo que os estilos Assimilador, Divergente e Convergente obtiveram ganhos semelhantes, próximos a 0,60 pontos. Entretanto, os alunos acomodadores apresentaram resultado abaixo de 0,50.

4.4.3.3.2 Desempenho conceitual por estilo de aprendizagem dos alunos do 1º ano do curso técnico de nível médio em Eletromecânica do Instituto Federal de Santa Catarina

A Tabela 49 apresenta os resultados estatísticos para cada estilo da turma de alunos do IFSC, bem como os valores de média e mediana para cada avaliação, diagnóstica e conceitual.

Tabela 49 - Valores médios e resultados do teste t de Student para a AD e AC

Estilo	Média			Mediana			p	Teste
	AD	AC	dif.	AD	AC	dif.		
Acomodador	4,28	10,43	6,14	4,00	12,00	5,00	0,000*	T pareado
Assimilador	5,22	7,88	2,67	6,00	7,00	1,00	0,084	T pareado
Convergente	4,66	5,00	0,33	4,00	4,00	1,00	0,772	Wilcoxon pareado
Divergente	4,50	9,83	4,83	4,50	11,00	4,50	0,018*	T pareado

*Nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$)

Fonte: Elaborada pela Autora.

Os testes para os estilos Acomodador e Divergente mostram que a diferença entre os acertos da avaliação diagnóstica e da avaliação conceitual é estatisticamente significativa, com $p < 0,05$. Os alunos do estilo Acomodador, na avaliação diagnóstica, obtiveram média de 4,28 pontos; já na avaliação conceitual a média ficou em 10,43 pontos. A média amostral dos acertos

da AC é superior à média amostral dos acertos da AD com média da diferença igual a 6,14. O teste-t com sete observações analisadas apresentou valor de $p = 0,000$, sendo considerada uma diferença estatisticamente significativa, utilizando o nível de significância de 5%.

Da mesma forma, os alunos Divergentes obtiveram um resultado estatisticamente significativo a partir do teste-t pareado, com valor de $p = 0,018$, com seis observações analisadas. Esses alunos obtiveram, na avaliação diagnóstica, média de 4,50 pontos, e na avaliação conceitual a média ficou em 9,83 pontos. A média amostral dos acertos da AC é superior à média amostral dos acertos da AD, com média da diferença igual a 4,83.

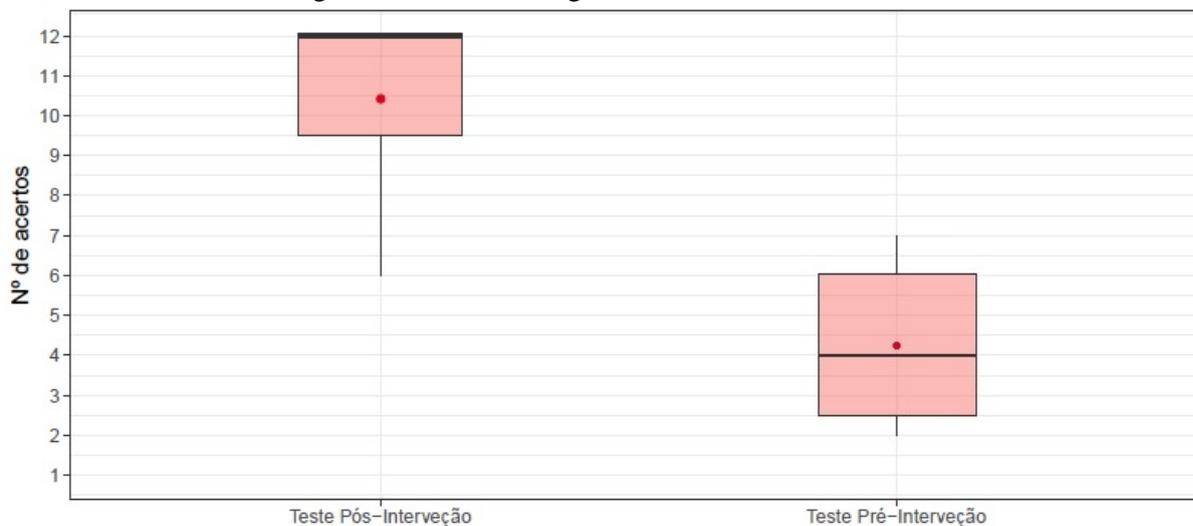
Por outro lado, os testes realizados com os dados dos alunos Assimiladores e Convergentes não apresentaram resultados estatisticamente significativos. Os alunos assimiladores obtiveram média na avaliação diagnóstica de 5,22 pontos – a maior entre os estilos; porém, na avaliação conceitual, a média não passou de 7,88 pontos. O valor de p foi de 0,084, com nove observações analisadas. A média amostral dos acertos da AC é superior à média amostral dos acertos da AD com média da diferença igual a 2,67.

Para o estilo Convergente, foi utilizado o teste Wilcoxon pareado devido ao tamanho da amostra, e assim não possui uma distribuição normal. O valor de p ficou em 0,772, com três observações analisadas. Esses alunos apresentaram aproveitamento menor que 50% em ambos os testes, sendo que a mediana dos acertos da AC é superior à mediana dos acertos da AD em apenas 1 ponto (mediana da diferença).

É importante destacar que, devido ao número da amostra, os testes estatísticos podem apresentar pouca precisão; ou seja, é necessária uma média/mediana da diferença significativa para apontar a rejeição da hipótese nula (H_0), o que pode não representar a realidade da população que os dados sugerem. Pensando nisso, foi realizada uma análise descritiva dos dados, bem como a aplicação da fórmula de ganho de Hake, como serão apresentados a seguir.

A Figura 60 apresenta um gráfico tipo *boxplot* comparando o número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual dos alunos **acomodadores** e a Tabela 50 apresenta as estatísticas do gráfico.

Figura 60 - Gráfico de boxplot para a comparação do número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual geral dos alunos acomodadores



*As linhas centrais mostram as medianas; os limites da caixa indicam os percentis 25 e 75, conforme determinado pelo *software* R; os traços estendem 1,5 vezes a faixa interquartil dos percentis 25 e 75, os valores extremos (*outliers*) são representados por pontos. n = 7 pontos de amostra.

Fonte: Elaborada pela Autora.

Tabela 50 - Estatísticas do gráfico Boxplot da avaliação geral (Figura 60)

	Avaliação Diagnóstica - AD	Avaliação Conceitual - AC
Máximo do whisker	7.00	12.00
3º quartil	6.00	12.00
Mediana	4.00	12.00
1º quartil	2.50	9.50
Mínimo do whisker	2.00	6.00
Nº pontos da amostra	7	7

Fonte: Elaborada pela Autora.

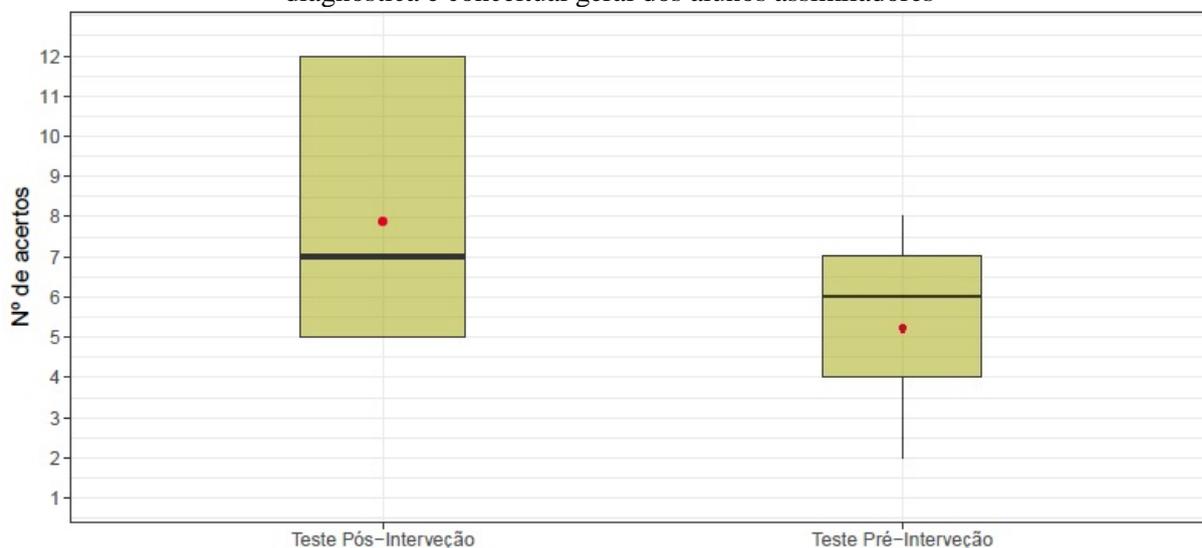
Como pode ser observado no gráfico, o conjunto de dados da avaliação diagnóstica possui maior amplitude quando comparado à avaliação conceitual. As notas na AD ficaram entre 2 e 7 pontos. O valor mediano da amostra foi de 4,00. A amplitude interquartilica corresponde a 3,5 pontos, sendo que a maioria dos participantes (50%) obteve desempenho na faixa entre 2,5 e 6,0 pontos.

Já na avaliação conceitual as notas ficaram entre 6 e 12 pontos, com uma distribuição negativamente assimétrica. Os acomodadores foram os alunos que obtiveram os melhores resultados na progressão na compreensão do conteúdo explorado, ficando com média de 11,43, e a mediana atingindo o valor máximo da avaliação (12 pontos). A amplitude interquartilica corresponde a 2,50 pontos, sendo que a maioria dos participantes (50%) obteve desempenho entre 9,50 e 12,00 pontos. É importante destacar que todos os alunos acomodadores apresentam progressão entre as avaliações diagnóstica e conceitual.

A Figura 61 apresenta um gráfico tipo *boxplot* comparando o número de acertos entre

as avaliações diagnóstica e conceitual dos alunos **assimiladores** e a Tabela 51 apresenta as estatísticas do gráfico.

Figura 61 - Gráfico de boxplot para a comparação do número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual geral dos alunos assimiladores



*As linhas centrais mostram as medianas; os limites da caixa indicam os percentis 25 e 75, conforme determinado pelo *software* R; os traços estendem 1,5 vezes a faixa interquartil dos percentis 25 e 75, os valores extremos (*outliers*) são representados por pontos. n = 9 pontos de amostra.

Fonte: Elaborada pela Autora.

Tabela 51 - Estatísticas do gráfico Boxplot da avaliação geral – Assimilador (Figura 61)

	Avaliação Diagnóstica - AD	Avaliação Conceitual - AC
Máximo do whisker	8.00	12.00
3º quartil	7.00	12.00
Mediana	6.00	7.00
1º quartil	4.00	5.00
Mínimo do whisker	2.00	5.00
Nº pontos da amostra	9	9

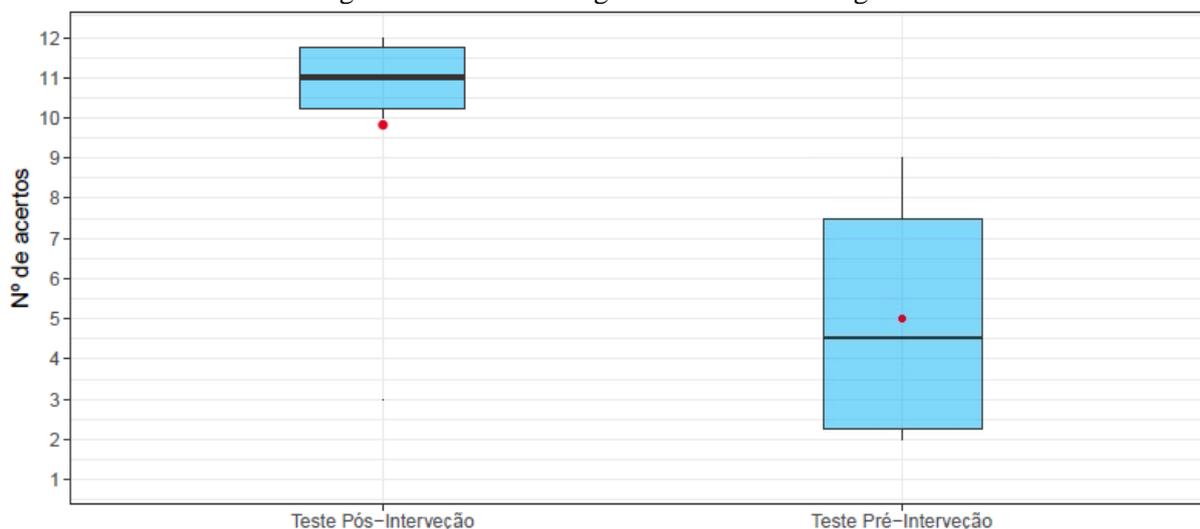
Fonte: Elaborada pela Autora.

As notas na AD ficaram entre 2 e 8 pontos. O valor mediano da amostra foi de 6,00, mais próxima do terceiro quartil, o que significa que os dados são negativamente assimétricos. A amplitude interquartílica corresponde a 3,00 pontos, sendo que a maioria dos participantes (50%) obteve desempenho na faixa entre 4,00 e 7,00 pontos. Já na avaliação conceitual o aproveitamento da turma ficou entre 5 e 12 pontos, com mediana de 7,00, mais próxima do primeiro quartil, apresentando uma distribuição positivamente assimétrica. A amplitude interquartílica corresponde a 7,00 pontos, o que demonstra que os dados são mais dispersos quando comparados com os demais estilos. Entre os alunos assimiladores, quatro alunos não apresentaram progressão na avaliação conceitual.

A Figura 62 apresenta um gráfico tipo *boxplots* comparando o número de acertos entre

as avaliações diagnóstica e conceitual dos alunos **divergentes** e a Tabela 52 apresenta as estatísticas do gráfico.

Figura 62 - Gráfico de boxplot para a comparação do número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual geral dos alunos divergentes



*As linhas centrais mostram as medianas; os limites da caixa indicam os percentis 25 e 75, conforme determinado pelo *software R*; os traços estendem 1,5 vezes a faixa interquartil dos percentis 25 e 75, os valores extremos (*outliers*) são representados por pontos. n = 6 pontos de amostra.

Fonte: Elaborada pela Autora.

Tabela 52 - Estatísticas do gráfico Boxplot da avaliação geral – Divergente (Figura 62)

	Avaliação Diagnóstica - AD	Avaliação Conceitual - AC
Máximo do whisker	9.00	12.00
3º quartil	7.50	11.75
Mediana	4.50	11.00
1º quartil	2.25	10.25
Mínimo do whisker	2.00	10.00
Nº pontos da amostra	6	6

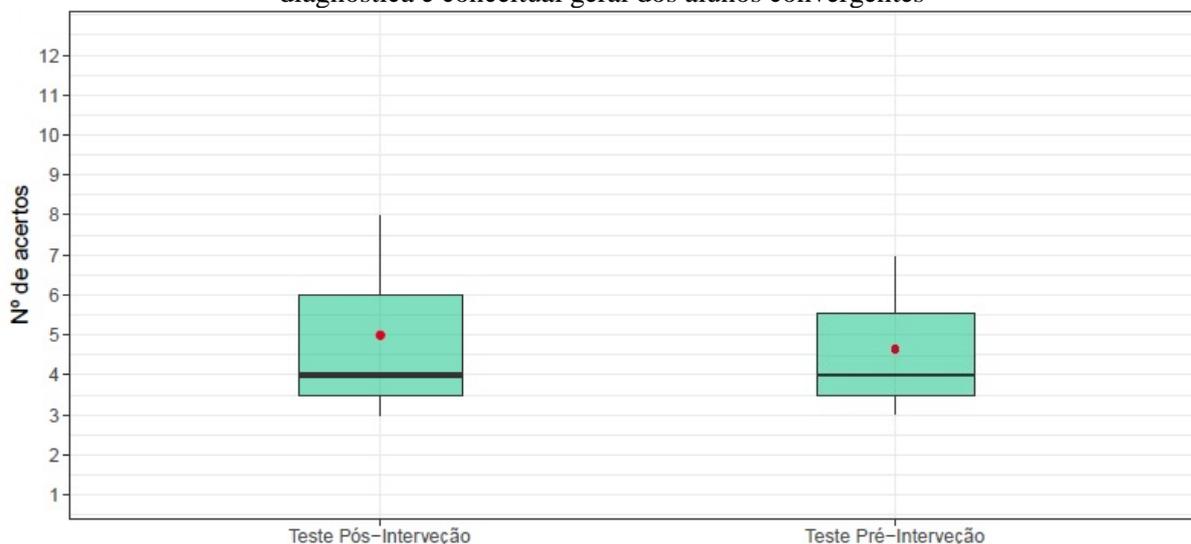
Fonte: Elaborada pela Autora.

As notas na AD ficaram entre 2 e 9 pontos. O valor mediano da amostra foi de 4,50, apresentando uma distribuição positivamente assimétrica. A amplitude interquartílica corresponde a 5,25 pontos, sendo que a maioria dos participantes (50%) obteve desempenho entre 2,25 e 7,50 pontos. Na avaliação conceitual, o aproveitamento da turma ficou entre 10 e 12 pontos, com mediana de 11, apresentando uma distribuição simétrica. A amplitude interquartílica corresponde a 1,50 ponto – 50% dos alunos obtiveram desempenho entre 10,00 e 11,75 – a menor entre todos os estilos de aprendizagem, apresentando a menor dispersão quando comparado com os demais estilos. É importante destacar que um aluno divergente não apresentou progressão entre as avaliações diagnóstica e conceitual.

A Figura 63 apresenta um gráfico tipo *boxplot* comparando o número de acertos entre

as avaliações diagnóstica e conceitual dos alunos **convergentes** e a Tabela 53 apresenta as estatísticas do gráfico.

Figura 63 - Gráfico de boxplot para a comparação do número de acertos entre as avaliações diagnóstica e conceitual geral dos alunos convergentes



*As linhas centrais mostram as medianas; os limites da caixa indicam os percentis 25 e 75, conforme determinado pelo *software* R; os traços estendem 1,5 vezes a faixa interquartil dos percentis 25 e 75, os valores extremos (*outliers*) são representados por pontos. n = 3 pontos de amostra.

Fonte: Elaborada pela Autora.

Tabela 53 - Estatísticas do gráfico Boxplot da avaliação geral – Convergente (Figura 63)

	Avaliação Diagnóstica - AD	Avaliação Conceitual - AC
Máximo do whisker	7.00	8.00
3º quartil	5.50	6.00
Mediana	4.00	4.00
1º quartil	3.50	3.50
Mínimo do whisker	3.00	3.00
Nº pontos da amostra	3	3

Fonte: Elaborada pela Autora.

Como pode ser observado no gráfico, os três alunos convergentes não apresentaram diferença importante entre as notas das avaliações diagnóstica e conceitual. As notas na AD ficaram entre 3 e 7 pontos. O valor mediano da amostra foi de 4 pontos, apresentando distribuição positivamente assimétrica. A amplitude interquartílica corresponde a 2,00 pontos, sendo que a maioria dos participantes (50%) obteve desempenho na faixa entre 3,50 e 5,50 pontos. Na avaliação conceitual, o aproveitamento da turma ficou entre 3 e 8 pontos, com mediana, igualmente, de 4 pontos. A amplitude interquartílica corresponde a 2,50 pontos, sendo que a maioria dos participantes (50%) obteve desempenho na faixa entre 3,50 e 6,00 pontos. Dos três alunos, um não apresentou progressão entre as avaliações diagnóstica e conceitual.

A fim de melhor entender a relação entre o desempenho conceitual e os estilos de aprendizagem, também foram analisados os dados a partir da fórmula Ganho de Hake. A Tabela 54 apresenta os resultados dos cálculos do ganho de Hake para cada estilo de aprendizagem.

Tabela 54 - Resumo dos resultados do ganho normalizado de Hake por estilo de aprendizagem

<i>Estilo</i>	<i>n</i>	Pré-teste <i>% de acertos</i>	Pós-teste <i>% de acertos</i>	Ganho normalizado <i>(%Pós-%Pré)/(100/%Pré)</i>
Acomodador	7	36%	87%	0,80
Assimilador	9	39%	70%	0,51
Divergente	6	42%	82%	0,69
Convergente	3	42%	50%	0,14

Fonte: Elaborada pela Autora.

Como pode ser evidenciado, os alunos acomodadores atingiram um ganho de 0,80, se destacando entre os estilos de aprendizagem. Conforme parâmetros de Hake (1998), esses alunos obtiveram um ganho alto, com valor de g acima de 0,70. Os alunos assimiladores e divergentes obtiveram ganhos médios ($0,30 > g \leq 0,70$), apesar dos divergentes ficarem próximo da nota de corte para ganho alto ($g = 0,69$). Por outro lado, os alunos convergentes apresentaram resultados insatisfatórios ($g = 0,14$); seguindo os mesmos critérios, esses alunos obtiveram um ganho baixo.

4.4.3.4 Análise detalhada das respostas aos questionários

Buscando verificar as concepções científicas dos alunos sobre circuitos elétricos ao fim da intervenção, uma análise mais detalhada das respostas dos alunos ao questionário é apresentada a seguir. Para o teste final, entre as 15 questões, a professora do EFA optou em utilizar cinco questões do questionário de Silveira et al. (1989). A Tabela 55 apresenta cada questão e o percentual de acerto dos alunos antes e após a intervenção, bem como os objetivos de aprendizagem apresentado na Tabela 22 (seção 4.4.1).

Tabela 55 - Percentual de acertos dos alunos antes e após a intervenção em cada questão do questionário de Silveira (1989)

Objetivos de aprendizagem (ref. Tabela 22)	Item	Respostas corretas (Avaliação diagnóstica)	Respostas corretas (Avaliação conceitual)
<i>a)</i>	1	66,7% (16)	83,3% (20)
<i>a)</i>	2	62,5% (15)	83,3% (20)
<i>e)</i>	3	33,3% (8)	62,5% (15)
-	5	45,8% (11)	58,3% (14)
<i>a) e)</i>	13	45,8% (11)	83,3% (20)

*A primeira coluna indica os objetivos de aprendizagem medidos para cada item do teste, conforme descrito por Dorneles et al. (2010). Os objetivos *g* e *h* permeiam todos os itens do teste.

Fonte: Elaborada pela Autora.

O teste final dos alunos do IFSC era composto por 12 questões do questionário de Silveira et al. (1989). A Tabela 56 apresenta cada questão e o percentual de acertos dos alunos antes e após a intervenção.

Tabela 56 - Percentual de acertos antes e após a intervenção em cada questão do questionário de Silveira (1989), relacionadas aos objetivos de aprendizagem conforme Dorneles et al. (2010)

Objetivos de aprendizagem (ref. Tabela 22)	Item	Respostas corretas (Avaliação diagnóstica)	Respostas corretas (Avaliação conceitual)
a)	1	58,3% (21)	87,5% (28)
a)	2	50,0% (18)	68,8% (22)
e)	3	36,1% (13)	84,4% (27)
c) e)	4	36,1% (13)	62,5% (20)
-	5	25,0% (9)	71,9% (23)
e)	6	44,4% (16)	59,4% (19)
a)	9	50,0% (18)	84,4% (27)
e)	10	30,6% (11)	65,6% (21)
f)	11	30,6% (11)	46,9% (15)
f)	12	27,8% (10)	53,1% (17)
a) e)	13	38,9% (14)	78,1% (25)
a) c) e)	14	36,1% (13)	62,5% (20)

*A primeira coluna indica os objetivos de aprendizagem medidos para cada item do teste, conforme descrito por Dorneles et al. (2010). Os objetivos g) e h) permeiam todos os itens do teste.

Fonte: Elaborada pela Autora.

A questão 1 (Figura 64) refere-se ao objetivo de aprendizagem a) *em uma associação em série a corrente elétrica que circula pelos resistores é a mesma*, e aos objetivos g e h relacionados a circuitos com lâmpadas, descritos na Tabela 22 (seção 4.1.1). Na avaliação diagnóstica, 33,3% dos alunos do EFA optaram pelas alternativas erradas. Entre os alunos do IFSC esse percentual foi de 41,7%. As alternativas incorretas referem-se à concepção alternativa que a corrente elétrica é emitida pela fonte e é consumida durante sua passagem no circuito. Conforme Silveira (1989; 2011), se o aluno acredita que a corrente é consumida ao passar por um elemento, como, por exemplo, no filamento de uma lâmpada ou em um resistor, então certamente responderá que alguma das lâmpadas dos circuitos das questões 1 e 2 apresentará brilho diferente das demais lâmpadas.

Desse modo, na avaliação conceitual, após a intervenção, o percentual dos alunos do EFA que responderam incorretamente ficou em 16,7% (quatro alunos). Desses, três alunos escolheram a alternativa A, enquanto que um aluno indicou a letra B. Esta última é escolhida por quem acredita que a corrente circula do polo negativo para o polo positivo da bateria. Entre os alunos do IFSC, esse percentual caiu para 12,6% (quatro alunos), sendo que dois alunos escolheram a alternativa A; e dois alunos indicaram a letra B.

Figura 64 - Questão 1 do teste de Silveira (1989)

1) No circuito da figura 1 pode-se afirmar que:

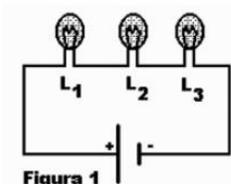


Figura 1

- a) L_1 brilha mais do que L_2 e esta mais do que L_3 .
- b) L_3 brilha mais do que L_2 e esta mais do que L_1 .
- c) as três lâmpadas têm o mesmo brilho.

Fonte: Elaborada pela Autora.

Dorneles et al. (2010), que também utilizaram o instrumento de avaliação de Silveira et al. (1989), em seu estudo com alunos do ensino superior, explorando simulações e modelação computacional para o ensino de circuitos elétricos, obtiveram 100% de acertos para essa questão após a intervenção. No estudo de Andrade et al. (2018), no qual foram observados alunos do ensino médio em aulas tradicionais, também foi observado um percentual de 100% de respostas corretas.

A questão 2 (Figura 65) também está relacionada ao objetivo de aprendizagem *a*, bem como os objetivos *g* e *h*. Na avaliação diagnóstica, 37,5% (nove alunos) dos alunos do EFA optaram pelas respostas incorretas, sendo que 33,4% escolheram a alternativa B e um aluno (4,2%) acreditava que a L_2 brilharia mais do que L_1 (C). O percentual de respostas incorretas dos alunos do IFSC foi de 50% (18 alunos), sendo que 30,4% optaram pela alternativa B e 7 alunos (19,4%) optaram pela resposta C.

Na avaliação conceitual, o percentual de respostas incorretas dos alunos do EFA caiu para 16,7% (4 alunos), e um aluno continuou acreditando que a L_2 brilharia mais que a L_1 . Já entre os alunos do IFSC o percentual de respostas incorretas ficou em 31,1% (10 alunos), e três alunos continuaram acreditando que a L_2 brilharia mais que a L_1 .

Figura 65 - Questão 2 do teste de Silveira (1989)

2) No circuito da figura 2, R é um resistor. Neste circuito:

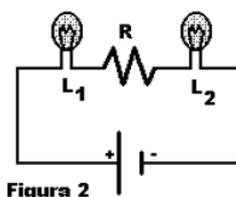


Figura 2

- a) L_1 e L_2 têm o mesmo brilho.
- b) L_1 brilha mais do que L_2 .
- c) L_2 brilha mais do que L_1 .

Fonte: Elaborada pela Autora.

É interessante observar que o número de alunos do EFA que respondeu corretamente as questões 1 e 2 após a intervenção foi exatamente o mesmo (83,3%), demonstrando consistência

nas respostas dos alunos – uma vez que ambas as questões são formalmente idênticas. Diferentemente desse quadro, os alunos do IFSC apresentaram resultados desiguais entre essas questões – enquanto o aproveitamento da questão 1 ficou próximo de 90%, na questão 2 não chegou a 70%, demonstrando certa confusão entre o funcionamento da lâmpada e do resistor.

Nesse sentido, no estudo de Andrade et al. (2018), os alunos do ensino médio apresentaram resultados discrepantes entre as duas questões; enquanto todos os alunos acertaram a questão 1, apenas 7% responderam corretamente a questão 2, tendo uma grande incidência de respostas na alternativa C (84%). Com isso, os autores evidenciaram que mais de 84% da turma acreditavam que a corrente circula a partir do polo negativo, além de não compreenderem o funcionamento da lâmpada e do resistor.

A questão 3 (Figura 66) tem objetivos análogos às questões anteriores; ou seja, investiga a existência da concepção alternativa do consumo da corrente e do raciocínio sequencial, mas agora analisando um circuito misto. Na avaliação diagnóstica, apenas 33,3% (oito alunos) dos alunos do EFA responderam a questão corretamente, sendo que a maioria dos estudantes (37,5%) acreditava que a L1 brilharia mais do que a L2 (alternativa C); e 29,2% (sete alunos) acreditava que a L1 teria o mesmo brilho que a L2 (alternativa A). Entre os alunos do IFSC, o percentual de respostas corretas ficou em 36,1% (13 alunos), sendo que 36,1% optaram pela alternativa C; e 27,8% apontaram a alternativa A – percentuais similares aos encontrados na turma de alunos do EFA.

Entretanto, na avaliação conceitual, os alunos do IFSC se destacaram, chegando a 84,4% (27) de alunos que responderam corretamente a questão. Apenas seis alunos (15,7%) responderam incorretamente; desses, três escolheram a alternativa A, e dois escolheram a alternativa C. Já entre os alunos do EFA o percentual de acertos foi de 62,5% (15 alunos). Das respostas incorretas (37,5%), cinco alunos (20,8%) escolheram a alternativa C e quatro alunos (16,7%) escolheram a alternativa A.

Figura 66 - Questão 3 do teste de Silveira (1989)

3) No circuito da figura 3, R é um resistor. Neste circuito:

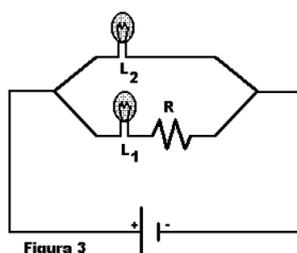


Figura 3

- a) L₁ tem o mesmo brilho de L₂.
- b) L₂ brilha mais do que L₁.
- c) L₁ brilha mais do que L₂.

Fonte: Elaborada pela Autora.

Conforme Andrade et al. (2018), acreditar que a lâmpada L1 terá o mesmo brilho da L2 (alternativa A) na questão 3 é um indicativo de raciocínio sequencial. O respondente imagina que a corrente parte do polo positivo, divide-se em partes iguais e que só diminuirá depois que passar por L1, pois uma parte será consumida pela resistência. Por outro lado, é interessante observar que a alternativa C, que se manteve com um percentual importante entre as respostas dos alunos do EFA, não se relaciona à concepção alternativa de consumo da corrente, nem mesmo ao raciocínio sequencial, sendo um indicativo de confusão no funcionamento do resistor.

Observando os resultados encontrados em estudos similares, na pesquisa de Dorneles et al. (2010), essa questão foi respondida corretamente por 64% dos estudantes (ensino superior). Já no estudo de Andrade et al. (2018) essa questão foi respondida corretamente por 25% dos alunos (ensino médio), sendo que 75% acreditavam que a L1 teria o mesmo brilho que a L2 (alternativa A). Destaca-se a diferença entre os percentuais encontrados no estudo de Andrade et al. (2018), com alunos do ensino médio, e as amostras desta pesquisa de tese. A diferença encontrada pode ser um indício que as simulações, tanto a do laboratório virtual, quanto a RA do laboratório remoto aumentado, possam ter contribuído para uma visão sistêmica do circuito elétrico. Nesse sentido, Dorneles et al. (2018) mencionam a importância do uso da simulação computacional para que os alunos não apliquem o raciocínio sequencial – e, conseqüentemente, não analisem o circuito elétrico em termos de “antes” e “depois” da passagem da corrente elétrica.

A questão 5 do teste (Figura 67) tem como propósito verificar se os alunos utilizam o raciocínio sequencial. Antes da intervenção, 45,8% (11 alunos) dos alunos do EFA responderam a questão corretamente; 33,3% (oito alunos) apontaram, incorretamente, a alternativa A; e 20,8% (cinco) a alternativa C. Isso demonstra que, antes da intervenção, mais de 50% dos alunos apresentavam um raciocínio sequencial. Entre os alunos do IFSC, esse percentual de respostas incorretas chegou a 75%, sendo que 30,6% (11 alunos) apontaram, incorretamente, a alternativa A e 44,4% (16 alunos) a alternativa C. Os alunos que escolhem a alternativa A têm a concepção alternativa que a corrente circula do polo positivo para o negativo, uma vez que a corrente seria consumida pela resistência posicionada após a lâmpada. Já os alunos que escolheram a alternativa C acreditam que a corrente circula pelo polo negativo (ANDRADE et al., 2018).

Na avaliação conceitual, os alunos do EFA apresentaram um aumento discreto no número de acertos, de modo que 10 alunos (41,7%) ainda continuaram com um raciocínio sequencial. Entretanto, a quantidade de alunos que acreditava que a corrente circula do polo negativo caiu para 12,5% (três alunos). Já os alunos do IFSC apresentaram um aumento

importante no número de alunos que respondeu corretamente, chegando a 71,9% de aproveitamento – sendo que a quantidade de alunos que acreditava que a corrente circula do polo negativo caiu para 6,3% (dois alunos). Fazendo um paralelo com o estudo de Andrade et al. (2018), aproximadamente 87% dos alunos ensino médio pesquisados por eles apresentaram um raciocínio sequencial após a formação. Já entre os alunos do ensino superior, pesquisados por Dorneles et al. (2010), esse percentual foi de 21%.

Figura 67 - Questão 5 do teste de Silveira (1989)

5) Nos circuitos 5a e 5b a lâmpada L, o resistor R e a bateria são exatamente os mesmos. Nestas situações:

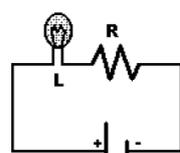


Figura 5a

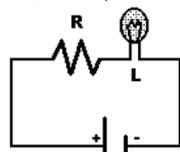


Figura 5b

- a) L brilha mais no circuito 5a.
- b) L brilha igual em ambos circuitos.
- c) L brilha mais no circuito 5b.

Fonte: Elaborada pela Autora.

O circuito apresentado na questão 13 é semelhante ao circuito da questão 3, porém aqui são utilizadas 3 lâmpadas. Assim como na questão 3, a questão 13 permite verificar a concepção alternativa do consumo da corrente e do raciocínio sequencial (Figura 68). Na avaliação diagnóstica, 45,8% (11 alunos) dos alunos do EFA indicaram corretamente a alternativa A, enquanto que o mesmo número de alunos respondeu, equivocadamente, alternativa C. Entre os alunos do IFSC, 38,9% (14 alunos) responderam corretamente alternativa A, enquanto que 41,7% dos alunos apontaram, erroneamente, a alternativa C. Após a intervenção, o percentual de acertos dos alunos do EFA aumentou para 83,3%, subindo para 20 alunos que responderam corretamente. Entre os alunos do IFSC, esse percentual ficou em 78,1% (25 alunos). Dorneles et al. (2010) encontraram um percentual de 75% de acertos para essa questão. Já no estudo de Andrade et al. (2018) apenas 6% dos alunos responderam corretamente esta questão.

Figura 68 - Questão 13 do teste de Silveira (1989)

13) No circuito da figura 11:

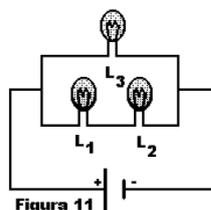


Figura 11

- a) L_1 e L_2 têm o mesmo brilho que é menor do que o de L_3 .
- b) L_1 brilha mais do que L_2 e do que L_3 .
- c) L_1, L_2 e L_3 brilham igualmente.

Fonte: Elaborada pela Autora.

As questões 4 e 6 (Figura 69), que foram respondidas apenas pelos alunos do IFSC, são similares e têm como objetivo “investigar a capacidade do respondente para identificar o estado de curto-circuito” (ANDRADE et al., 2018, p. 6). Na avaliação diagnóstica, a questão 4 foi respondida corretamente por 36,1% (13 alunos); após a intervenção, esse percentual ficou em 62,5% (20 alunos).

Na avaliação conceitual, 47,2% (17 alunos) dos alunos acreditavam que o brilho de L_1 permaneceria o mesmo ao fechar o interruptor (opção B); após as aulas, esse percentual caiu para 21,9% (sete alunos). Conforme Andrade et al. (2018, p. 5), “esse tipo de resposta engloba uma concepção alternativa e uma dificuldade em reconhecer o estado de curto-circuito”. No estudo dos autores, após as aulas, 44% ainda afirmavam que o brilho de L_1 permaneceria o mesmo. No estudo de Dorneles (2010), que utilizou simuladores computacionais como apoio educacional, o grupo experimental chegou a 79% de aproveitamento, enquanto que o grupo controle, que não utilizou as simulações, teve um percentual de 64%.

Figura 69 - Questões 4 e 6 do teste de Silveira (1989)

<p>4) No circuito da Figura 4, I é um interruptor aberto. Ao fechá-lo:</p> <p>a) aumenta o brilho de L_1.</p> <p>b) o brilho de L_1 permanece o mesmo.</p> <p>c) diminui o brilho de L_1.</p> <p>Figura 4</p>	<p>6) No circuito da figura 6, R é um resistor e I é um interruptor que está aberto. Ao fechar o interruptor:</p> <p>a) L continua brilhando como antes.</p> <p>b) L deixa de brilhar.</p> <p>c) L diminui seu brilho mas não apaga.</p> <p>Figura 6</p>
---	---

Fonte: Elaborada pela Autora.

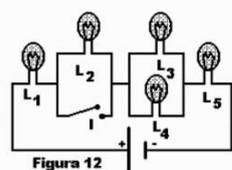
A questão 6 apresentou uma diferença discreta entre os acertos das duas avaliações; o percentual na avaliação inicial foi de 44,4% (16 alunos) e na avaliação final ficou em 59,4% (19 alunos) – um incremento de apenas 15%. Dorneles (2010) encontrou um percentual de 79% no grupo experimental e de 64% no grupo controle. Andrade et al. (2018), por sua vez, encontraram um percentual de 78% de aproveitamento para essa questão. Entre as respostas incorretas para essa questão, seis alunos responderam alternativa A, o que indica que esses

estudantes apresentam dificuldades no entendimento de um curto-circuito. A alternativa C foi escolhida por sete alunos; estes, parecem associar uma resistência ao interruptor.

A questão 14 (Figura 70) verifica se o respondente compreende a ideia de que a corrente fornecida pela bateria depende da montagem ou da alteração do circuito, além de verificar a questão de curto-circuito. Conforme Silveira (2011), essa questão pode ser instigante, pois observar duas lâmpadas “no meio” do circuito apagar enquanto as demais lâmpadas ainda brilhavam “certamente para um aluno que possua concepção alternativa, a primeira lâmpada até poderia estar acesa, mas a última de maneira alguma, pois as lâmpadas “intermediárias” se encontravam apagadas (p. 2)”.

Figura 70 - Questão 14 do teste de Silveira (1989)

14) No circuito da figura 12, quando o interruptor é aberto, as lâmpadas L_3 e L_4 deixam de brilhar, embora L_2 brilhe. O que acontece com as lâmpadas L_1 e L_5 ?



- a) nem L_1 , nem L_5 brilham.
- b) L_1 brilha e L_5 não brilha.
- c) L_1 e L_5 brilham.

Fonte: Elaborada pela Autora.

Nesse sentido, na questão 14, que foi respondida pelos alunos do IFSC, na avaliação diagnóstica, 52,8% (19 alunos) de alunos acreditavam que a L_1 brilharia e a L_5 não brilharia ao abrir o interruptor. Já na avaliação conceitual esse percentual caiu para 28,1% (nove alunos), chegando a 62,5% o percentual acertos. No estudo de Andrade et al. (2018), 26% dos alunos responderam corretamente a questão 14; em Dorneles (2010), esse percentual ficou em 68% no grupo experimental e em 42% no grupo controle.

Conforme Andrade et al. (2018), a questão 14 é mais complexa que as demais questões, e a complexidade está na informação de que as lâmpadas L_3 e L_4 deixam de brilhar quando o interruptor é aberto. Os autores explicam que essa complexidade está relacionada à abordagem dos livros didáticos, uma vez que estes utilizam símbolos para representar os componentes, e raramente conectam tais símbolos aos dispositivos reais. Como consequência, “[...] dificulta a interpretação de circuitos quando questões práticas são levantadas. É o caso da dificuldade que os alunos têm em relacionar a intensidade da corrente com o brilho de uma lâmpada”. Os alunos apresentam dificuldades em compreender que, se a intensidade da corrente for abaixo de determinado valor (que depende da resistência da lâmpada), a lâmpada não brilhará; e associam, assim, a ausência de brilho como inexistência de corrente.

Essa reflexão de Andrade et al (2018) corrobora com os resultados evidenciados na atual pesquisa, bem como nos resultados de Dorneles et al. (2010) – que utilizam simulações computacionais como apoio ao ensino de circuitos elétricos, quando comparados com os resultados obtidos por eles em aulas tradicionais. Os laboratórios *online*, sejam eles virtuais ou reais, têm potencial para contribuir para o entendimento de tais questões, uma vez que exploram na prática, simulando ou vivenciando em equipamentos reais, os conceitos estudados.

4.4.4 Motivação dos estudantes com o uso do Ciclo de Kolb apoiado por Laboratórios *Online*

Esta seção tem como finalidade apresentar e discutir os resultados obtidos a partir da aplicação do questionário *Instructional Materials Motivation Survey* (IMMS), a fim de medir o nível de motivação dos estudantes (HUANG et al., 2006), segundo modelo de design motivacional ARCS – *atenção, relevância, confiança e satisfação* (KELLER, 2009). O objetivo é trazer subsídio para responder as Questões de Pesquisa 3 e 4, relacionadas ao impacto do uso do Ciclo de Kolb para o ensino de circuitos elétricos apoiado por laboratórios *online* na motivação dos estudantes:

- Questão de pesquisa 3: Quais as percepções dos estudantes em termos de motivação ao participar de uma atividade de ensino e aprendizagem baseada no Ciclo Experiencial de Kolb com apoio dos Laboratórios Remotos, Virtuais e Aumentados?
- Questão de pesquisa 4: Há diferença nos níveis de motivação percebidos pelos estudantes conforme o estilo de aprendizagem apresentado por eles?

O questionário IMMS foi respondido por 34 estudantes, como segue:

- 10 alunos do 3º ano do ensino médio do Centro de Educação Básica Francisco de Assis (EFA);
- 24 alunos do 1º ano do curso técnico de ensino médio em Eletromecânica do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC).

Devido ao número da amostra, as análises estatísticas foram realizadas a partir dos dados das duas turmas ($n = 34$), que são apresentados na próxima seção. Em seguida, é apresentada uma análise descritiva, detalhando os resultados por unidade de análise.

4.4.4.1 Análises estatísticas da avaliação dos níveis de motivação dos estudantes após a intervenção

Primeiramente, foram identificados os valores médios e desvios padrão de cada um dos aspectos motivacionais (*atenção, relevância, satisfação e confiança*) percebidos pelos estudantes, como está apresentado na Tabela 57. A média total das respostas ao questionário IMMS foi de 3,64 pontos. Fazendo uma correspondência com a escala Likert, pode-se afirmar que, de modo geral, as respostas permaneceram em uma tendência positiva.

Tabela 57 - Valores médios e desvio padrão de cada aspecto avaliado por meio do questionário IMMS

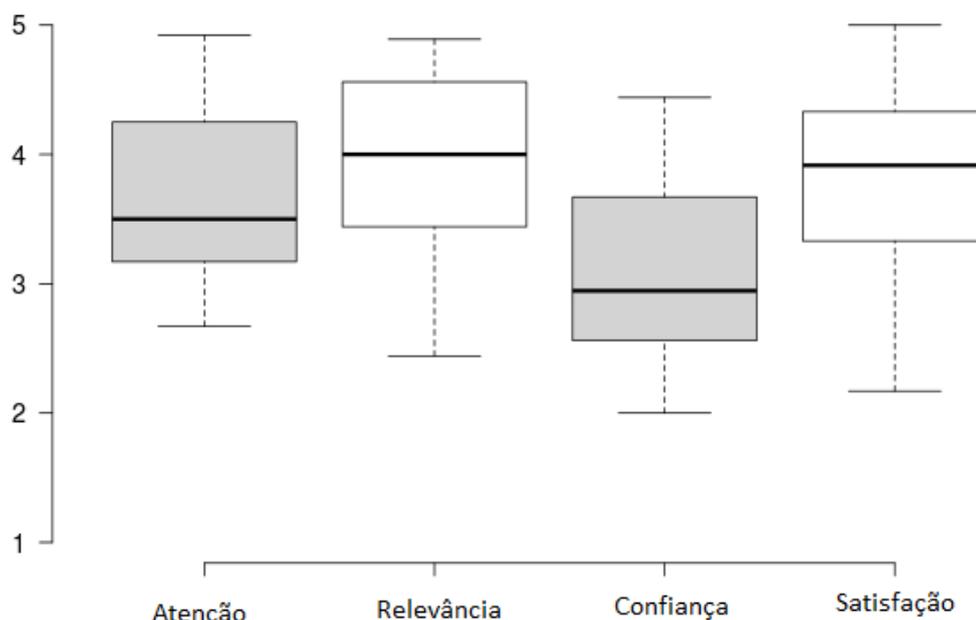
Categoria	Média	Desvio Padrão
Atenção	3,67	1,05
Relevância	3,94	0,96
Confiança	3,08	1,09
Satisfação	3,81	0,94
Total	3,63	0,75

Fonte: Elaborada pela Autora.

O aspecto *relevância* obteve o maior escore médio ($\bar{x} = 3,94$, $\sigma = 0,96$). As questões sobre relevância estão relacionadas ao quanto o conteúdo se alinha com os objetivos de aprendizagem, necessidades pessoais e experiências anteriores dos alunos (KELLER; SUZUKI, 2004). Os alunos muitas vezes se perguntam se o conhecimento a ser construído tem relação com seus objetivos e, muitas vezes, se motivam a partir dessa informação (KELLER, 2009).

Entretanto, os resultados referentes a *confiança* ($\bar{x} = 3,08$, $\sigma = 1,09$) se aproximaram às respostas neutras (*sem opinião*). A *confiança* refere-se ao nível de expectativa de sucesso que o aprendiz acredita possuir em cada atividade desenvolvida; ou seja, quanto mais bem-sucedida for a experiência do aluno, mais motivado ele estará para melhorar seu aprendizado e desempenho (KELLER, 2009). Por meio do gráfico *boxplot*, representado pela Figura 71, é possível analisar detalhadamente os dados.

Figura 71 - Boxplot dos valores obtidos em cada um dos aspectos motivacionais pesquisados



*As linhas centrais mostram as medianas; os limites da caixa indicam os percentis 25 e 75, conforme determinado pelo *software* R; os traços estendem 1,5 vezes a faixa interquartil dos percentis 25 e 75, os valores extremos são representados por pontos. n = 34 pontos de amostra.

Fonte: Elaborada pela Autora.

Tabela 58 - Estatísticas do gráfico Boxplot das respostas do IMMS (Figura 71)

	Atenção	Relevância	Confiança	Satisfação
Máximo do whisker	4.92	4.89	4.44	5.00
3º quartil	4.25	4.56	3.67	4.33
Mediana	3.50	4.00	2.95	3.92
1º quartil	3.17	3.44	2.56	3.33
Mínimo do whisker	2.67	2.44	2.00	2.17
Nº pontos da amostra	34	34	34	34

Fonte: Elaborada pela Autora.

As médias das questões referentes a *relevância*, que tiveram o maior escore médio, ficaram entre os valores 2,44 e 4,89, com mediana de 4,00, situada no centro, apresentando uma distribuição simétrica. A amplitude interquartílica corresponde a 1,12 ponto. A reta vertical a baixo da caixa da amplitude demonstra que 25% das respostas ficaram iguais ou abaixo de 3,44, e a reta a cima demonstra que 25% das respostas tiveram desempenho maior ou igual a 4,56 (Tabela 58).

Os aspectos de *satisfação* e *atenção*, que apresentaram escores médios próximos, se diferenciam na distribuição dos dados. Enquanto as questões sobre *satisfação* ficaram entre 2,17 – 5,00 (com mediana de 3,92), as questões de *atenção* apresentaram valores entre 2,67 – 4,97 (com mediana de 3,50). O aspecto de *atenção* apresentou a mediana mais próxima do primeiro quartil, o que identifica que os dados são positivamente assimétricos. A amplitude

interquartílica corresponde a 1,08 ponto, sendo que 25% das respostas ficaram iguais ou abaixo de 3,17, e a reta acima demonstra que 25% tiveram desempenho maior ou igual a 4,25.

Já a categoria *satisfação* apresentou a mediana mais próxima do terceiro quartil, apresentando dados negativamente assimétricos. A amplitude interquartílica corresponde a 1,00 ponto, sendo que 25% das respostas ficaram iguais ou abaixo de 3,33, e a reta acima demonstra que 25% das respostas tiveram desempenho maior ou igual a 4,33.

A categoria *confiança* recebeu os valores mais baixos; as respostas ficaram entre 2,00 e 4,44, com mediana de 3,95, situada próxima do primeiro quartil, apresentando uma distribuição positivamente assimétrica. A amplitude interquartílica corresponde a 0,77 ponto. A reta vertical abaixo da caixa da amplitude demonstra que 25% das respostas ficaram iguais ou abaixo de 2,56, e a reta acima demonstra que 25% tiveram desempenho maior ou igual a 3,67.

Para testar a significância entre a diferença nas médias de *atenção*, *relevância*, *confiança* e *satisfação* foi aplicado um teste pareado em cada um dos pares possíveis das categorias. Para isso, antes, foi analisado se os dados seguiam uma distribuição normal, a fim de selecionar o teste estatístico em conformidade. Utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov no SPSS (CORP, 2020), indicado para amostras menores que 100, foi possível aceitar a hipótese nula nas categorias *atenção*, *relevância* e *satisfação*; ou seja, os dados seguem uma distribuição normal. Já na categoria *confiança* o valor p é menor que 0.05, o que significa que os dados não seguem uma distribuição normal (Tabela 59).

Tabela 59 - Testes de normalidade dos dados coletados do instrumento de motivação IMMS – Geral

	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Statistic	Df	Sig.
Atenção	0,138	34	0,102*
Relevância	0,139	34	0,096*
Confiança	0,162	34	0,024
Satisfação	0,109	34	0,200*

* $p > 0.05$

Fonte: Elaborada pela Autora.

Com isso, foram utilizados o teste-t pareado e o teste de Wilcoxon para identificar se não há diferenças significativas entre os resultados das categorias. A hipótese nula (H_0) foi delineada da seguinte forma: *Não há diferença significativa na percepção dos estudantes entre as categorias pesquisadas (atenção, relevância, confiança e satisfação)*. A Tabela 60 apresenta os resultados dos testes, incluindo o cálculo do tamanho do efeito. Pode-se observar que o resultado da categoria *satisfação* não apresenta diferença significativa com os resultados apresentados nas categorias *atenção* e *relevância* ($p > 0,05$). Entretanto, com base nestes mesmos

parâmetros, pode-se afirmar que o nível de *confiança* é significativamente menor que os níveis das outras três categorias e o nível de *relevância* é significativamente maior que o nível de *atenção*.

Tabela 60 - Resultado testes estatísticos para médias do questionário IMMS – Geral

Par	t/z	Df	Sig	Teste
Atenção - Relevância	-3,029	33	0,005	Teste T pareado
Atenção – Satisfação	-1,536	33	0,134*	Teste T pareado
Relevância - Satisfação	1,458	33	0,154*	Teste T pareado
Atenção – Confiança	-4,864	33	0,000	Teste Wilcoxon
Relevância - Confiança	-4,689	33	0,000	Teste Wilcoxon
Confiança - Satisfação	-4,647	33	0,000	Teste Wilcoxon

* $p > 0.05$

Fonte: Elaborada pela Autora.

A Tabela 61 apresenta as médias das quatro categorias classificadas por turma. Como pode ser observado, os alunos do Centro de Educação Básica Francisco de Assis (EFA) apresentaram médias superiores em todas as categorias. Os dados apresentados aqui têm como objetivo saber se há diferença significativa entre os resultados das duas unidades de análise. O detalhamento dos resultados por unidade de análise pode ser encontrado nas seções seguintes.

Tabela 61 - Escores médios dos níveis de motivação por turma

Unidade de análise	n	Atenção	Relevância	Confiança	Satisfação
EFA	10	4,15	4,22	3,80	4,22
IFSC	24	3,47	3,82	2,78	3,65

Fonte: Elaborada pela Autora.

Para testar a significância da diferença dos resultados por turma, foram aplicados testes estatísticos não pareados. Para isso, antes, foi analisado se os dados seguiam uma distribuição normal, a fim de selecionar o teste em conformidade. Utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov no SPSS (CORP, 2020) é possível constatar que, para as categorias *atenção*, *relevância* e *satisfação*, os dados seguem uma distribuição normal. Já na categoria *confiança* da turma de alunos do IFSC e na categoria *satisfação* da turma de alunos do EFA o valor p é menor que 0.05, o que significa que os dados não seguem uma distribuição normal (Tabela 62).

Tabela 62 - Testes de normalidade dos dados coletados do instrumento de motivação IMMS – Geral

Unidade de análise		Kolmogorov-Smirnov ^a		
		Estatística	Df	Sig.
Atenção	EFA	0,167	10	0,200*
	IFSC	0,150	24	0,175*
Relevância	EFA	0,159	10	0,200*
	IFSC	0,143	24	0,200*
Confiança	EFA	0,170	10	0,200*
	IFSC	0,219	24	0,004
Satisfação	EFA	0,277	10	0,028
	IFSC	0,124	24	0,200*

* $p > 0.05$

Fonte: Elaborada pela Autora.

Dessa forma, foram utilizados o teste-t não pareado e o teste de Mann-Whitney para identificar se há diferenças significativas entre as unidades de análise nos níveis de motivação. A hipótese nula (H_0) foi delineada da seguinte forma: *Não há diferença significativa entre as unidades de análise quanto às suas percepções nos níveis de atenção, relevância, confiança e satisfação*. Aplicando os testes estatísticos, rejeitou-se a H_0 . Como pode ser observado na Tabela 63, existe diferença estatística entre as turmas nas categorias *atenção, confiança e satisfação*, demonstrando que os alunos do EFA apresentaram, de forma significativa, melhores resultados nos níveis de motivação dessas três categorias. Já na categoria *relevância* a diferença apresentada não é significativa entre as turmas.

Tabela 63 - Resultados dos testes estatísticos dos dados do questionário IMMS por unidade de análise

Variáveis	EFA		IFSC		Sig	Teste
	Média	Mediana	Média	Mediana		
Atenção	4,15	4,25	3,47	3,33	0,008	T não pareado
Relevância	4,22	4,17	3,82	3,94	0,103*	T não pareado
Confiança	3,80	3,78	2,78	2,67	0,000	Mann-Whitney
Satisfação	4,22	4,17	3,65	3,58	0,009	Mann-Whitney

* $p > 0.05$

Fonte: Elaborada pela Autora.

A Tabela 64 apresenta as médias das quatro categorias classificadas por gênero. As alunas do sexo feminino apresentaram médias maiores em todas as categorias. Destaca-se a categoria *relevância*, em que apesar de os dois grupos apresentarem as melhores médias, as alunas se destacaram apresentando média acima de 4 pontos. Por outro lado, a categoria *confiança* apresentou a menor média em ambos os grupos – com destaque negativo entre os alunos do sexo masculino, em que a média ficou abaixo dos 3 pontos. É importante destacar

que a turma do EFA é formada majoritariamente por meninas e a turma do IFSC por meninos – o que pode explicar a diferença entre os resultados por gênero.

Tabela 64 - Escores médios dos níveis de motivação por gênero

Sexo	n	Atenção	Relevância	Confiança	Satisfação
Feminino	11	3,94	4,20	3,38	4,02
Masculino	23	3,54	3,81	2,93	3,72

Fonte: Elaborada pela Autora.

Para testar a significância da diferença dos resultados apresentados por cada grupo, foram aplicados testes estatísticos não pareados. Para isso, antes, foi analisado se os dados seguiam uma distribuição normal, a fim de selecionar o teste estatístico em conformidade. Utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov no SPSS (CORP, 2020) é possível constatar que para as categorias *atenção*, *relevância* e *satisfação* os dados seguem uma distribuição normal. Já a categoria *confiança* para o gênero masculino o valor p é menor que 0.05, o que significa que os dados não seguem uma distribuição normal. É o que pode ser observado na Tabela 65.

Tabela 65 - Testes de normalidade dos dados coletados do instrumento de motivação IMMS – Gênero

Sexo		Kolmogorov-Smirnov ^a		
		Estatística	Df	Sig.
Atenção	Feminino	0,140	11	0,200*
	Masculino	0,144	23	0,200*
Relevância	Feminino	0,216	11	0,162*
	Masculino	0,159	23	0,137*
Confiança	Feminino	0,163	11	0,200*
	Masculino	0,199	23	0,019
Satisfação	Feminino	0,223	11	0,131*
	Masculino	0,108	23	0,200*

* $p > 0.05$

Fonte: Elaborada pela Autora.

Dessa forma, foram utilizados o teste-t não pareado e o teste de Mann-Whitney para identificar se há diferenças significativas entre os resultados por gênero. A hipótese nula (H_0) foi delineada da seguinte forma: *Não há diferença significativa entre os alunos do sexo feminino e masculino nas percepções nos níveis de atenção, relevância, confiança e satisfação*. Após aplicar os testes estatísticos, verificou-se que não há diferença significativa nos níveis de motivação nas quatro categorias entre os alunos do sexo feminino e masculino (Tabela 66).

Tabela 66 - Resultados testes estatísticos dos dados do IMMS por sexo – Geral

Variáveis	Feminino		Masculino		Sig	Teste
	Média	Mediana	Média	Mediana		
Atenção	3,94	4,00	3,54	3,42	0,134	T não pareado
Relevância	4,20	4,11	3,81	4,00	0,104	T não pareado
Confiança	3,38	3,56	2,93	2,89	0,086	Mann-Whitney
Satisfação	4,02	4,00	3,72	3,67	0,273	T não pareado

* $p > 0.05$

Fonte: Elaborada pela Autora.

Com o objetivo de trazer subsídio para responder a questão de pesquisa 4 – “*Há diferença nos níveis de motivação percebidos pelos estudantes conforme o estilo de aprendizagem apresentado por eles?*” – também foram analisados os dados quanto ao estilo de aprendizagem dos estudantes. A Tabela 67 apresenta os valores médios em cada categoria por estilo de aprendizagem.

Tabela 67 - Escores médios dos níveis de motivação por estilo de aprendizagem

	n	Atenção	Relevância	Confiança	Satisfação	Total
Divergente	9	3,87	4,25	3,38	4,00	3,86
Assimilador	12	3,45	3,90	2,77	3,65	3,44
Convergente	5	3,92	3,93	3,49	3,93	3,82
Acomodador	6	3,75	3,94	2,94	4,00	3,63

Fonte: Elaborada pela Autora.

Como pode ser observado, os alunos divergentes e convergentes apresentaram as maiores médias quando observados os totais das respostas do IMMS – 3,88 e 3,82, respectivamente. Fazendo a correspondência com a escala Likert, pode-se afirmar que a maioria das respostas desses alunos ficou na opção “concordo parcialmente”, considerando, portanto, que aprender com os laboratórios *online* em um ciclo de aprendizagem experiencial proporciona bons níveis de motivação.

Os divergentes foram os alunos que melhor avaliaram a *relevância* dos materiais educacionais, com média de 4,25. Por outro lado, os alunos assimiladores apresentaram o menor nível de motivação, com média de 3,44, destacando-se a média da categoria *confiança*, que ficou em 2,77 para esses alunos.

Para testar a significância entre os estilos de aprendizagem, foram aplicados testes estatísticos não pareados. Da mesma forma, antes da aplicação do teste, foi analisado se os dados seguiam uma distribuição normal, a fim de selecionar o teste estatístico em conformidade. Utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov no SPSS (CORP, 2020) é possível

constatar que apenas os dados da categoria *confiança* do grupo assimilador e a categoria *satisfação* do grupo acomodador não seguem uma distribuição normal (Tabela 68).

Tabela 68 - Testes de normalidade dos dados coletados do instrumento de motivação IMMS

Unidade de análise		Kolmogorov-Smirnov ^a		
		Estatística	Df	Sig.
Atenção	Divergente	0,165	9	,200*
	Assimilador	0,192	12	,200*
	Convergente	0,243	5	,200*
	Acomodador	0,230	6	,200*
Relevância	Divergente	0,267	9	,064*
	Assimilador	0,149	12	,200*
	Convergente	0,217	5	,200*
	Acomodador	0,194	6	,200*
Confiança	Divergente	0,209	9	,200*
	Assimilador	0,287	12	,007
	Convergente	0,203	5	,200*
	Acomodador	0,266	6	,200*
Satisfação	Divergente	0,230	9	,184*
	Assimilador	0,219	12	,117*
	Convergente	0,249	5	,200*
	Acomodador	0,333	6	,036

* $p > 0.05$

Fonte: Elaborada pela Autora.

Com isso, foi utilizado o Teste de Kruskal-Wallis para identificar se existem diferenças significativas na percepção de motivação conforme o estilo de aprendizagem. A hipótese nula (H_0) foi delineada da seguinte forma: *Não há diferença significativa entre os estilos de aprendizagem quanto às suas percepções nos níveis de atenção, relevância, confiança e satisfação*. Conforme apresentado na Tabela 69, verificou-se que a H_0 deve ser aceita.

Tabela 69 - Resultados do teste Kruskal Wallis dos dados para o IMMS por estilo de aprendizagem

	Testes estatístico ^{a,b}			
	Atenção	Relevância	Confiança	Satisfação
Chi-square	2,759	1,458	6,601	4,192
df	3	3	3	3
Sig.	0,430	0,692	0,086	0,241

a. Teste de Kruskal Wallis

b. Variável de agrupamento: Estilo de aprendizagem

Fonte: Elaborada pela Autora.

Portanto, não existe diferença significativa entre os estilos de aprendizagem quanto às suas percepções nos níveis de motivação, em todos os aspectos pesquisados (*atenção, relevância, confiança e satisfação*).

Nas próximas seções são apresentados os dados detalhados por unidade de pesquisa, iniciando com o 3º ano do ensino médio do EFA e, na seção seguinte, os dados do curso técnico

de ensino médio em Eletromecânica do IFSC.

4.4.4.2 Terceiro ano do ensino médio: Centro de Educação Básica Francisco de Assis

O questionário IMMS foi respondido por 10 alunos do Centro de Educação Básica Francisco de Assis (EFA). E a questão aberta, a qual solicitava que o aluno escrevesse sobre sua experiência em aprender durante o segundo semestre de 2020, foi respondida por cinco estudantes. As respostas do questionário IMMS são detalhadas a partir de estatísticas descritivas e as respostas da questão aberta foram avaliadas por meio de análise de conteúdo (como detalhado na seção de 3 – métodos da pesquisa).

A Tabela 70 apresenta os valores médios e desvios padrão de cada um dos aspectos motivacionais pesquisados do IMMS (*atenção, relevância, satisfação e confiança*), a partir das respostas dos estudantes do EFA.

Tabela 70 - Valores médios e desvio padrão de cada aspecto avaliado por meio do questionário IMMS

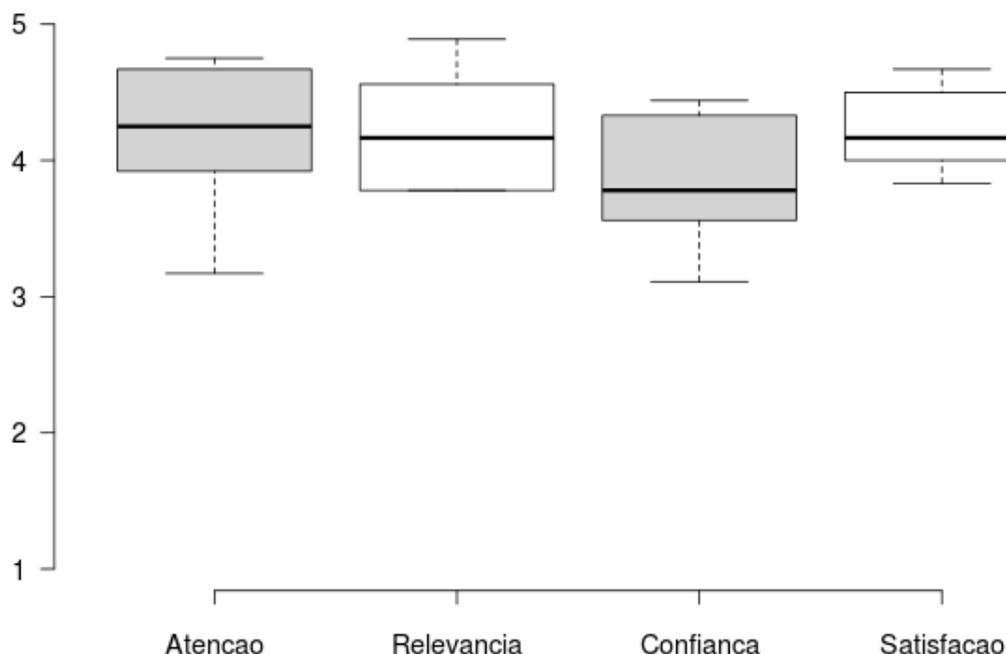
Categoria	Média	Desvio Padrão
Atenção	4,15	0,94
Relevância	4,22	0,75
Confiança	3,80	0,90
Satisfação	4,22	0,58

Fonte: Elaborada pela Autora.

Todas as categorias ARCS apresentaram tendências positivas: *atenção* (4,15), *relevância* (4,22), *confiança* (3,80) e *satisfação* (4,22). Os aspectos *relevância, satisfação e atenção* obtiveram escores médios acima de 4 pontos. Estabelecendo correspondência com a escala de Likert, podemos evidenciar que as médias dessas categorias apontam para concordância parcial e total ($\bar{x} > 4,00$), e que a categoria *confiança* se aproxima da concordância parcial.

Foram elaboradas representações gráficas no formato de *boxplot* para a análise mais detalhada dos resultados, visto que possibilitam maior compreensão da avaliação dos níveis de motivação percebidos pelos estudantes após a intervenção. A Figura 72 apresenta o gráfico *boxplot*, no qual cada caixa representa os dados de cada categoria pesquisada (ARCS). Os conjuntos de dados das categorias *atenção, confiança e satisfação* apresentam uma distribuição assimétrica. Portanto, a mediana é a medida de tendência central mais indicada a ser observada, uma vez que a média aritmética é influenciada pelos valores extremos.

Figura 72 - Boxplot dos valores obtidos em cada um dos aspectos motivacionais pesquisados – EFA



*As linhas centrais mostram as medianas; os limites da caixa indicam os percentis 25 e 75, conforme determinado pelo *software* R; os traços estendem 1,5 vezes a faixa interquartil dos percentis 25 e 75, os valores extremos são representados por pontos. n = 10 pontos de amostra.

Fonte: Elaborada pela Autora.

Tabela 71 - Estatísticas do gráfico Boxplot das respostas do IMMS (Figura 72)

	Atenção	Relevância	Confiança	Satisfação
Máximo do whisker	4.75	4.89	4.44	4.67
3º quartil	4.67	4.56	4.33	4.50
Mediana	4.25	4.17	3.78	4.17
1º quartil	3.92	3.78	3.56	4.00
Mínimo do whisker	3.17	3.78	3.11	3.83
Nº pontos da amostra	10	10	10	10

Fonte: Elaborada pela Autora.

Como pode ser observado na Figura 72 e na Tabela 71, os aspectos de *satisfação* e de *relevância*, que apresentaram o mesmo escore médio e mediana, se diferenciam levemente na distribuição dos dados. Enquanto as questões sobre *satisfação* ficaram entre 3,83 – 4,67, apresentando uma amplitude interquartil de 0,85 pontos, as questões de *relevância* apresentaram valores entre 3,78 – 4,89, com amplitude interquartil de 1,11 ponto. Desse modo, os dados da categoria *satisfação* apresentam uma distribuição um pouco mais concentrada que aqueles da categoria *relevância*. Entretanto, a categoria *satisfação* apresentou mediana mais próxima do primeiro quartil, o que identifica que os dados são positivamente assimétricos, enquanto a categoria *relevância* apresentou uma distribuição simétrica.

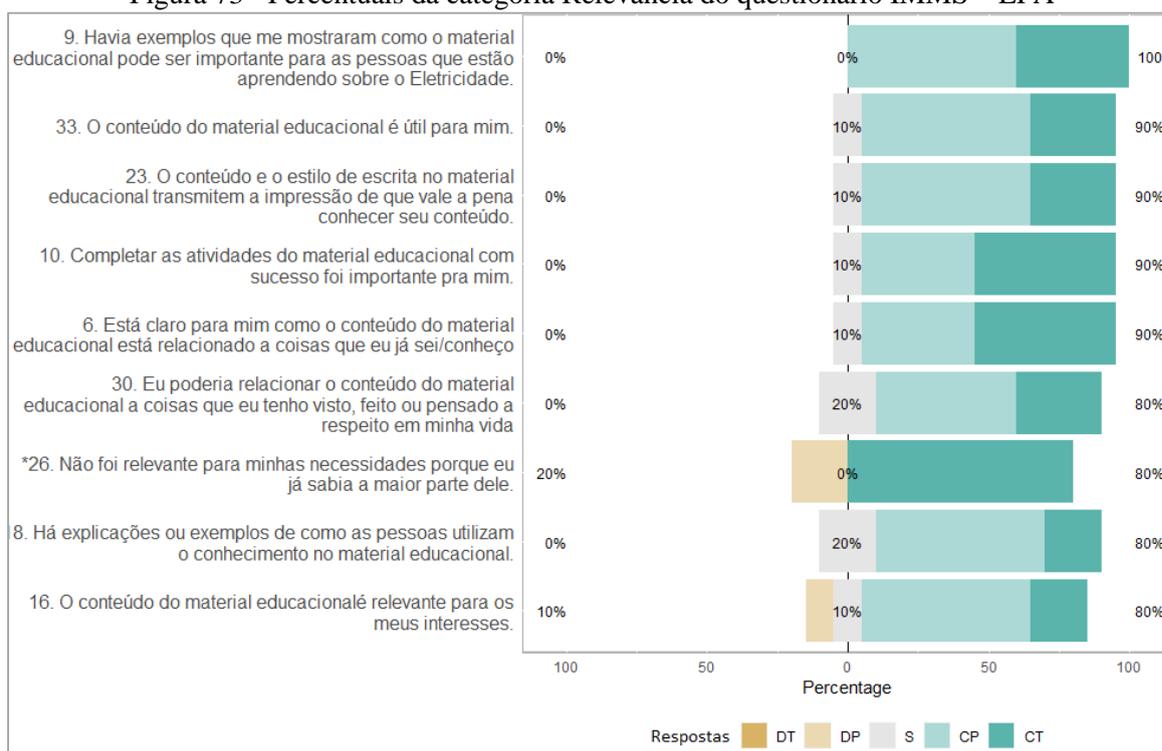
A categoria *atenção* apresentou valores entre 3,17 e 4,75 pontos. O valor mediano da amostra foi de 4,25, um pouco mais próxima do primeiro quartil, sendo, portanto, uma

distribuição de dados positivamente assimétrica. A amplitude interquartílica corresponde a 0,75 ponto. A reta vertical abaixo da caixa da amplitude demonstra que 25% das respostas para essa categoria ficaram iguais ou abaixo de 3,92 e a reta acima da caixa demonstra que 25% das respostas ficaram acima de 4,67.

Já no aspecto *confiança*, que recebeu os valores mais baixos, as respostas ficaram entre 3,11 e 4,44, com mediana de 3,78, situada próxima do primeiro quartil, apresentando uma distribuição positivamente assimétrica. A amplitude interquartílica corresponde a 0,77 ponto. A reta vertical abaixo da caixa da amplitude demonstra que 25% das respostas ficaram iguais ou abaixo de 3,56, e a reta acima demonstra que 25% das respostas tiveram desempenho maior ou igual a 4,33.

Detalhando os resultados de cada um dos aspectos pesquisados, a categoria *relevância* do modelo ARCS busca melhorar a experiência de aprendizagem oferecida em termos de: orientação de objetivos (importância do conteúdo para atingir um objetivo presente/futuro); correspondência de motivos (capacidade de oferecer um ambiente de ensino que acomode seu comportamento e interesses), e; familiaridade (relação do conteúdo com as experiências dos estudantes) (KELLER, 2009). Nesse sentido, todas as questões obtiveram 80% ou mais de concordância, e apenas duas questões apresentaram respostas negativas. A Figura 73 apresenta os percentuais de cada uma das questões pesquisadas na categoria *relevância*.

Figura 73 - Percentuais da categoria Relevância do questionário IMMS – EFA



* No IMMS, as questões formuladas negativamente recebem valores reversos (de 5 a 1).

** Para a apresentação do gráfico, as afirmativas foram resumidas. Para visualizar o questionário completo IMMS, acesso o ANEXO B.

Fonte: Elaborada pela Autora.

Essa percepção positiva dos alunos quanto à *relevância* dos materiais para aprender circuitos elétricos é refletida nas respostas dos mesmos à questão aberta. Por meio da análise de conteúdo, foi possível identificar que, das cinco respostas obtidas, três estão relacionadas à categoria *relevância*, de forma positiva.

Nesse sentido, a afirmativa 9 do IMMS, referente ao quão importante o material educacional está relacionado aos objetivos de quem está aprendendo sobre Eletricidade, obteve os melhores resultados dessa categoria, chegando a 100% de concordância (Figura 73). Corroborando com esses resultados, o Aluno 1 destaca a relevância pela utilidade dos materiais/recursos disponibilizados para o seu aprendizado:

Aluno 1 – Eu não achei que teria facilidade com esse conteúdo, então acabou sendo uma agradável surpresa o quanto eu gostei do assunto. Acho que o que me ajudou no aprendizado de circuitos elétricos foram os simuladores⁶, já que eles me permitiram visualizar e testar toda a parte teórica que estávamos aprendendo (RE3 - importância/utilidade, CO2 – percepção de dificuldade e facilidade).

A afirmativa 6, referente ao quão familiar é o conteúdo, e a afirmativa 10, relacionada

⁶ Os alunos, com frequência, se referiam em sala de aula aos laboratórios *online* como simuladores, não diferenciando a terminologia quanto ao seu tipo (remoto, virtual ou remoto aumentado).

com a importância de finalizar com sucesso as atividades, obtiveram percentual de 90% de concordância, sendo quase 50% de concordância total. Nesse sentido, o Aluno 5 destaca que os laboratórios *online* o ajudaram a relacionar o conteúdo com suas experiências anteriores:

Aluno 5 – [...] O que eu mais gostei foram os laboratórios online, em que, através deles foi possível perceber como os circuitos elétricos estão presentes no nosso dia a dia (RE4 - familiaridade).

A relevância a partir da oportunidade de aprender coisas novas também foi destacada por um dos alunos na questão aberta do questionário:

Aluno 4 - Gostei muito das aulas, pois, aprendi coisas que ainda não sabia, foi de muito bom proveito (RE5 - aprender coisas novas).

Em contrapartida, a afirmativa “16. O conteúdo do material educacional (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada) é relevante para os meus interesses” obteve o menor índice médio da categoria, com média abaixo de 4, apresentando 10% de discordância parcial e 10% de neutralidade. Traçando um paralelo entre os resultados da afirmativa 9 e da afirmativa 16, percebe-se que, apesar de todos os estudantes concordarem que o material educacional é relevante para as pessoas que estão aprendendo sobre Eletricidade, uma parte destes não percebe a importância do conteúdo para seus próprios interesses.

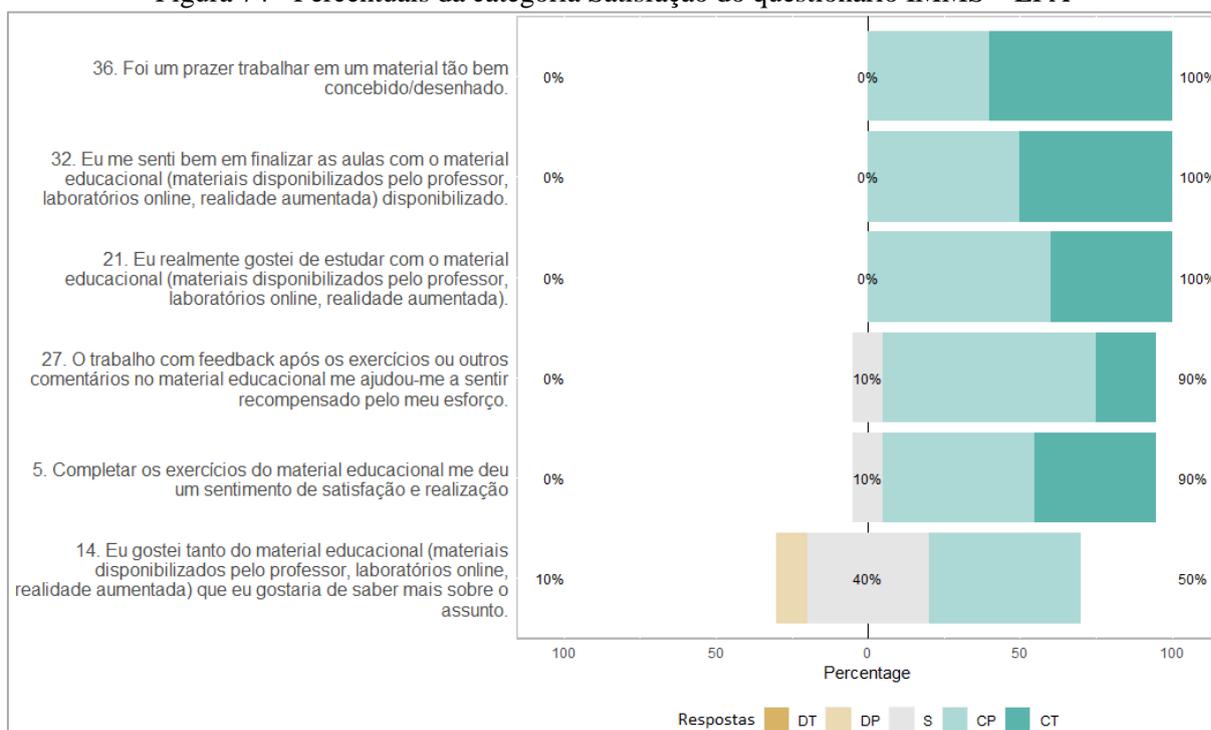
A categoria *satisfação*, na concepção do modelo ARCS, tem como principal objetivo ajudar os estudantes a se sentir bem com sua experiência e desejar continuar aprendendo. Esta categoria busca melhorar a experiência de aprendizagem oferecida em termos de: consequências naturais, o que está relacionado à capacidade de oferecer condições aos estudantes para aplicar os conhecimentos recém-adquiridos; consequências positivas, o que diz respeito a utilização de recompensas extrínsecas, e; equidade, o que está relacionado a construir a percepção dos alunos sobre um tratamento justo (KELLER, 2009).

Com isso, as afirmativas “36. Foi um prazer trabalhar em um material tão bem concebido/desenhado.” e “32. Eu me senti bem em finalizar as aulas com o material educacional (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada) disponibilizado.” obtiveram 100% de concordância, sendo que a afirmativa 36 obteve mais de 50% de concordância total, o que demonstra que os estudantes se sentiram bem com a experiência de aprendizagem realizada. O Aluno 2 atribui essa *satisfação* à forma como a processo ensina:

Aluno 2 - Gostei desse conteúdo e com a prof. Rubia foi melhor de entender, pois ela é atenciosa e consegue explicar bem o conteúdo (SA2 - Satisfação no processo ou resultados).

Por outro lado, a afirmativa relacionada ao desejo do aluno de saber mais sobre o assunto (afirmativa 14) obteve o menor índice de concordância, apresentando 40% de neutralidade e 10% de discordância parcial. A Figura 74 apresenta os valores de média e desvio padrão de cada uma das questões pesquisadas na categoria *satisfação*.

Figura 74 - Percentuais da categoria Satisfação do questionário IMMS – EFA



Fonte: Elaborada pela Autora.

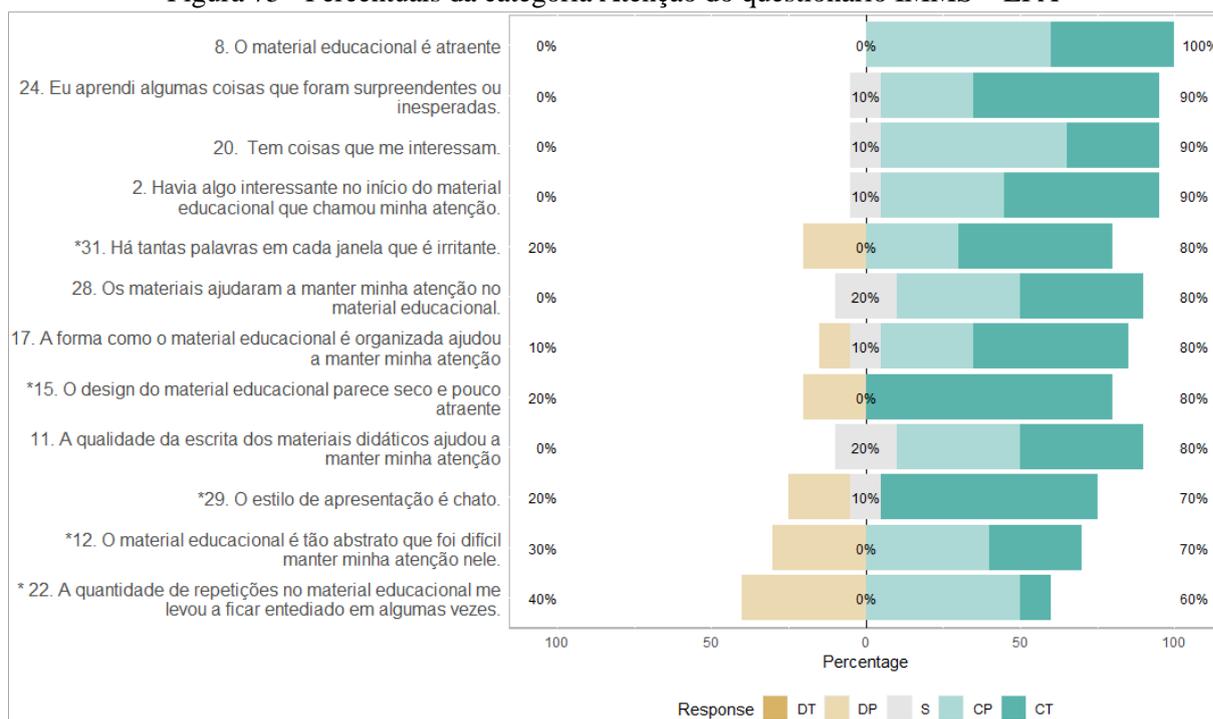
A categoria *atenção* tem como objetivos capturar o interesse dos alunos e estimular a curiosidade para aprender. No modelo ARCS, essa categoria dedica-se a oferecer uma experiência de aprendizagem estimulante por meio de: ativação perceptual; estimulação da curiosidade, aumentando a curiosidade por meio de perguntas e desafios, e; variabilidade, a fim de manter o interesse por meio da variação no estilo da apresentação (KELLER, 2009).

Nesse sentido, as questões referentes à atratividade do material educacional (afirmativas 2 e 8) se destacaram entre as respostas dos alunos. A questão 8. *O material educacional (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada) é atraente* obteve 100% de concordância parcial e total. Já a questão 2. *Havia algo interessante no início do material educacional (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada) que chamou minha atenção* teve 90% de concordância parcial e total.

Além disso, os alunos reconheceram que aprenderam “coisas” surpreendentes ou

inesperadas (questão 24) e que o material apresentava conteúdo que lhes interessava (questão 20) (Figura 75). Por outro lado, as afirmativas 12 e 22 receberam 30% e 40% de discordância parcial. A questão 12 versa sobre a dificuldade do material e a questão 22 está relacionada à subcategoria variabilidade no estilo da apresentação. A Figura 75 apresenta os percentuais de cada uma das questões pesquisadas na categoria *atenção*.

Figura 75 - Percentuais da categoria Atenção do questionário IMMS – EFA



* No IMMS, as questões formuladas negativamente recebem valores reversos (de 5 a 1).

** Para apresentação do gráfico as afirmativas foram resumidas. Para visualizar o questionário completo IMMS, acesse o ANEXO B.

Fonte: Elaborada pela Autora.

A categoria *confiança* no modelo ARCS recomenda que os professores e os materiais didáticos precisam ajudar os estudantes a acreditar que eles terão sucesso em sua aprendizagem e que eles têm controle sobre seu sucesso. Keller (2009) classifica a categoria *confiança* em três componentes: exigências de aprendizagem, estabelecendo confiança e expectativas positivas e explicando os requisitos para o sucesso; oportunidades de sucesso, aumentando a confiança na competência, fornecendo experiências variadas que levem ao sucesso, e; controle pessoal, utilizando técnicas que propiciem controle pessoal e fornecendo feedback que atribua para o sucesso ao esforço pessoal.

Os resultados referentes à categoria *confiança* ($\bar{x} = 3,80$, $\sigma = 0,90$) obtiveram o menor escore médio entre as categorias pesquisadas; ainda assim, permaneceram em uma tendência positiva, apresentando cinco questões com mais de 70% de concordância (Figura 76). Nesse

aspecto, o Aluno 5 afirmou que o processo de aprendizagem:

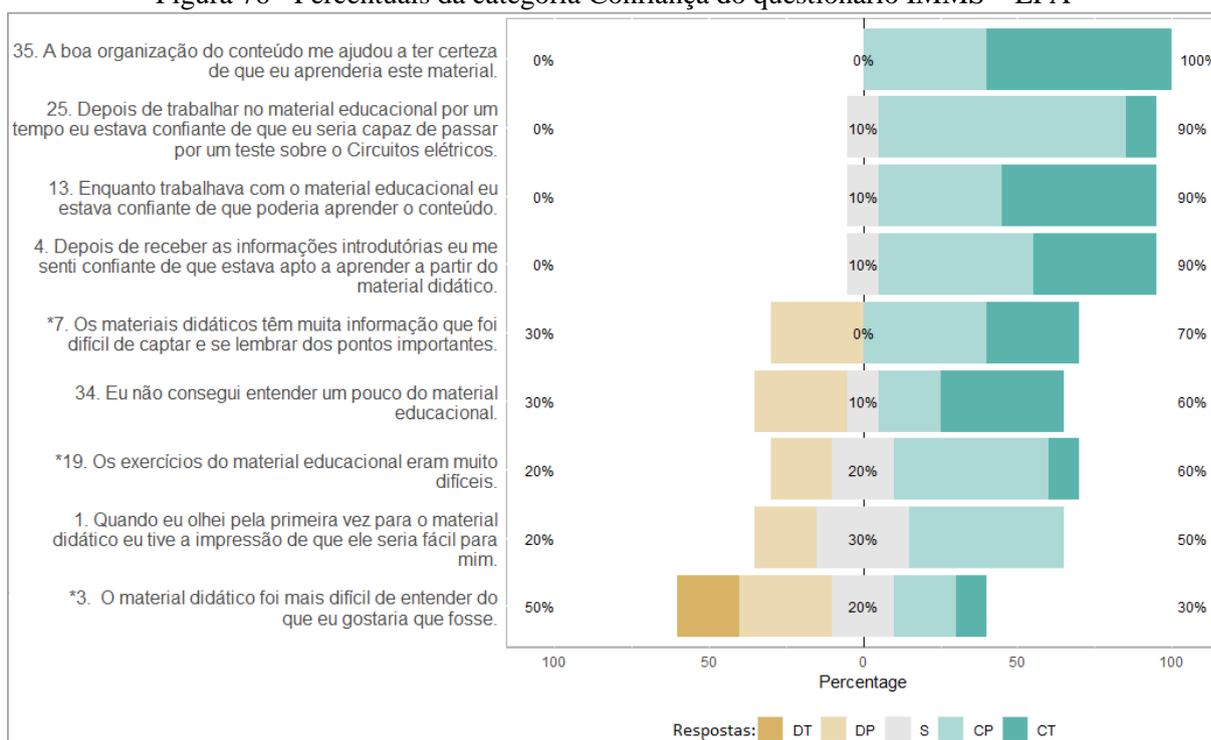
Aluno 5 - Foi muito produtivo, consegui compreender mais sobre os circuitos elétricos. (CO3 - entendimento)

A afirmativa 35, referente à boa organização do material didático, obteve 100% de concordância, tendo mais de 50% de concordância total. E as questões 25 e 13, sobre sentir-se confiante ao trabalhar com o material educacional disponibilizado, obtiveram 90% de concordância. Nesse sentido, o Aluno 1 atribuiu sua confiança à oportunidade de aprender com os laboratórios *online*:

Aluno 1 – [...] Minha maior dificuldade teria sido entender como que funcionam os circuitos e o porquê deles funcionarem de tal maneira, mas acho que os simuladores evitaram esse problema; posso dizer que tive quase nenhuma dificuldade com o conteúdo, muito menos sei sugerir algo que poderia ter melhorado esse aprendizado (CO5 - confiança e expectativa positiva).

Por outro lado, as afirmativas relacionadas às oportunidades de sucesso ligadas à percepção de dificuldade ou facilidade em aprender sobre eletricidade (afirmativas 1 e 3) apresentaram uma tendência de neutra a negativa. A afirmativa 1, que versa sobre a percepção inicial de que o conteúdo seria fácil, obteve 30% de neutralidade e 20% de discordância parcial. E a afirmativa 3, referente ao material didático ser mais difícil do que o esperado, apresentou 20% de neutralidade, 30% de discordância parcial e 20% de discordância total.

Figura 76 - Percentuais da categoria Confiança do questionário IMMS – EFA



* No IMMS, as questões formuladas negativamente recebem valores reversos (de 5 a 1).

** Para apresentação do gráfico as afirmativas foram resumidas. O Anexo B apresenta o questionário IMMS na forma completa.

Fonte: Elaborada pela Autora.

Por fim, foi realizada uma análise qualitativa, a partir da análise de conteúdo, para observar os discursos dos alunos conforme seu estilo de aprendizagem. Entre os cinco alunos que responderam a questão dissertativa, dois são alunos convergentes e três assimiladores. A Tabela 72 apresenta um resumo dos principais pontos levantados pelos alunos, conforme seu estilo.

Tabela 72 - Principais pontos levantados pelos alunos conforme o estilo de aprendizagem

Assimiladores	Positivo	Cód. Análise
	Percepção de facilidade (Aluno 1)	CO2, CO5
	Laboratórios online (Aluno 1)	RE3
	Explicações do professor (Aluno 2)	SA2
Convergentes	Negativo	Cód. Análise
	-----	-----
	Positivo	Cód. Análise
	Aprender coisas novas (Aluno 4)	RE5
Laboratórios online (Aluno 5)	RE4	
Gostar dos materiais/aulas (Aluno 3)	SA6	
Negativo	Cód. Análise	
-----	-----	

Fonte: Elaborada pela Autora.

Devido à quantidade pequena de respondentes da questão aberta, não é possível identificar relações diretas entre os aspectos motivacionais e o estilo de aprendizagem dos alunos. Entretanto, é interessante observar que, em ambos os grupos, os laboratórios *online* apareceram como relevantes para a aprendizagem.

4.4.4.3 Curso técnico de ensino médio em Eletromecânica: Instituto Federal de Santa Catarina

Em relação à unidade de análise IFSC, o questionário IMMS foi respondido por 24 estudantes. E a questão aberta, a qual solicitava que o aluno escrevesse sobre sua experiência em aprender durante o primeiro semestre de 2021, foi respondida por 19 estudantes. As respostas do questionário IMMS são detalhadas a partir de estatísticas descritiva e as respostas da questão aberta foram avaliadas por meio de análise de conteúdo (como detalhado na seção de 3 – métodos da pesquisa).

A Tabela 73 apresenta os valores médios e desvios padrão de cada um dos aspectos motivacionais (*atenção, relevância, satisfação e confiança*) percebidos pelos estudantes do curso técnico de ensino médio em Eletromecânica.

Tabela 73 - Valores médios e desvio padrão de cada aspecto avaliado por meio do questionário IMMS – IFSC

Categoria	Média	Desvio Padrão
Atenção	3,47	1,03
Relevância	3,82	0,97
Confiança	2,77	1,09
Satisfação	3,65	0,99

Fonte: Elaborada pela Autora.

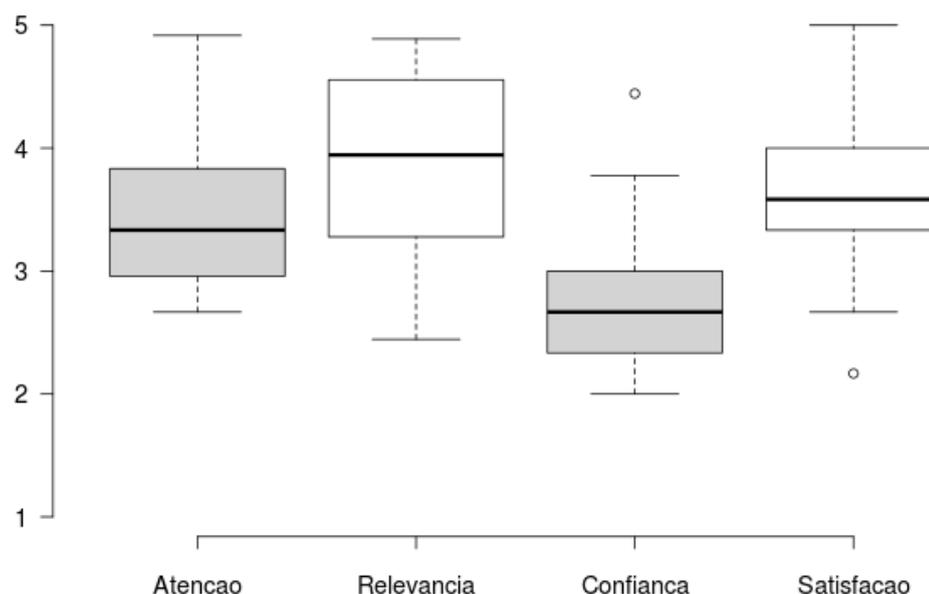
Como pode ser observado, os valores médios apresentados pelos alunos do IFSC ficaram um pouco mais baixos que os resultados apresentados pelos alunos do EFA. As categorias *atenção* (3,47), *relevância* (3,82) e *satisfação* (3,54) apresentaram tendências positivas; entretanto, a categoria *confiança* permaneceu com uma tendência de neutra a negativa. Estabelecendo correspondência com a escala de Likert, podemos evidenciar que as médias das categorias *relevância, satisfação e atenção* apontam para *concordância parcial*, e que a categoria *confiança* aponta para as respostas *sem opinião*.

Foram elaboradas representações gráficas no formato de *boxplot* para a análise mais detalhada dos resultados. A Figura 77 apresenta o gráfico *boxplot* no qual cada caixa representa os dados de cada categoria pesquisada (ARCS). Como pode ser observado, assim como na

avaliação dos alunos do EFA, o aspecto *relevância* e *satisfação* obtiveram os melhores resultados da avaliação, bem como a categoria *confiança* teve os resultados mais baixos.

Os conjuntos de dados das categorias *atenção* e *satisfação* apresentam uma distribuição assimétrica. Portanto, é importante observar os valores medianos como tendência central, visto que a média aritmética é influenciada pelos valores extremos.

Figura 77 - Boxplot dos valores obtidos em cada um dos aspectos motivacionais pesquisados – IFSC



*As linhas centrais mostram as medianas; os limites da caixa indicam os percentis 25 e 75, conforme determinado pelo *software R*; os traços estendem 1,5 vezes a faixa interquartil dos percentis 25 e 75, os valores extremos são representados por pontos. n = 24 pontos de amostra.

Fonte: Elaborada pela Autora.

Tabela 74 - Estatísticas do gráfico Boxplot das respostas do IMMS – IFSC (Figura 77)

	Atenção	Relevância	Confiança	Satisfação
Máximo do whisker	4.92	4.89	3.78	5.00
3º quartil	3.83	4.56	3.00	4.00
Mediana	3.33	3.94	2.67	3.58
1º quartil	2.96	3.28	2.33	3.33
Mínimo do whisker	2.67	2.44	2.00	2.67
Nº pontos da amostra	24	24	24	24

Fonte: Elaborada pela Autora.

Como apresentado no gráfico na Figura 77 e Tabela 74, as avaliações da categoria *atenção* ficaram entre 2,67 e 4,92 pontos. O valor mediano da amostra foi de 3,33, mais próxima do primeiro quartil, o que significa que os dados são positivamente assimétricos. A amplitude interquartilica corresponde a 0,87 pontos, sendo que 50% das respostas ficaram entre os valores 2,96 e 3,83. A reta vertical abaixo da caixa da amplitude demonstra que 25% das respostas para essa categoria ficaram iguais ou abaixo de 2,96 e a reta acima da caixa demonstra que 25% das

respostas ficaram acima de 3,83.

A categoria *relevância* apresentou valores entre 2,44 e 4,89. O valor mediano da amostra foi de 3,94, situada ao centro da caixa interquartílica – portanto, apresentando dados simétricos. A amplitude interquartílica corresponde a 1,28 ponto, sendo que 50% das respostas ficaram entre os valores 3,28 e 4,56, apresentando a maior variabilidade dos dados quando comparada com as outras categorias. A reta vertical abaixo da caixa da amplitude demonstra que 25% das respostas para essa categoria ficaram iguais ou abaixo de 3,28 e a reta acima da caixa demonstra que 25% das respostas ficaram acima de 4,56.

Já no aspecto *confiança* as respostas ficaram entre 2,00 e 3,78, com um *outlier*. A mediana é de 2,67, situada ao centro da caixa interquartílica, sendo, portanto, uma distribuição simétrica dos dados. A amplitude interquartílica corresponde a apenas 0,67 pontos, apresentando menor variabilidade dos dados quando comparados com as categorias de *atenção* e *relevância*. A reta vertical abaixo da caixa da amplitude demonstra que 25% das respostas ficaram iguais ou abaixo de 2,33 e a reta acima demonstra que 25% das respostas tiveram desempenho maior ou igual a 3,00.

Por fim, as avaliações da categoria *satisfação* ficaram entre 2,67 e 5,00, com um *outlier*. A mediana para essa categoria ficou em 3,58, situada próxima ao primeiro quartil, o que significa que os dados são positivamente assimétricos. Igualmente à categoria *confiança*, a amplitude interquartílica corresponde a 0,67 pontos, apresentando baixa variabilidade dos dados. A reta vertical abaixo da caixa da amplitude demonstra que 25% das respostas ficaram iguais ou abaixo de 3,33 e a reta a cima demonstra que 25% das respostas tiveram desempenho maior ou igual a 4,00.

Detalhando os resultados de cada um dos aspectos pesquisados, na categoria *relevância*, a questão sobre a importância do material para aprender coisas novas (afirmativa 26) obteve os melhores resultados entre todos os construtos pesquisados do IMMS, obtendo 96% de concordância – sendo 79% de concordância total (realizada a conversão da afirmativa formulada de forma negativa). Corroborando com esses resultados, o Aluno 7 destacou:

Aluno 7 - Minha experiência foi muito boa, consegui aprender muitas coisas novas com todos os conteúdos (RE5 - aprender coisas novas).

Assim como nos resultados apresentados pelos alunos do EFA, a afirmativa 9, relacionada à importância do material educacional estar relacionado aos objetivos de quem está aprendendo sobre Eletricidade, também se destaca entre as questões pesquisadas, apresentando 79% de concordância. Entre as respostas descritivas, é possível observar que alguns alunos atribuíram essa importância aos laboratórios *online* e realidade aumentada, principalmente por

estarem distantes das salas de aula:

Aluno 4 - Gostei dos simuladores que traziam uma visão mais real dos circuitos e ajudavam a entender um pouco melhor [...] (RE3 - importância/utilidade).

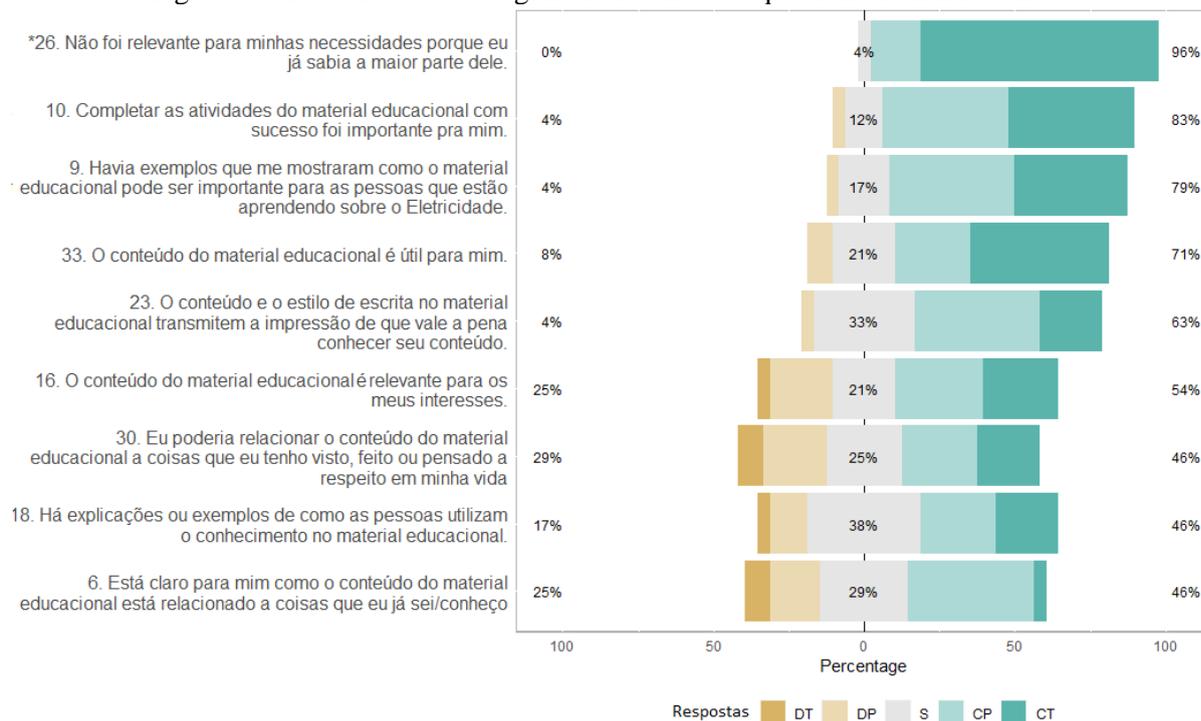
Aluno 14 - As aulas virtuais, os materiais de realidade aumentada foram essenciais para o aprendizado online, porém faltou a relação interpessoal que faz toda diferença para ficar ainda mais interessante (RE3 - importância/utilidade).

Por outro lado, diferentemente da avaliação realizada pelos alunos do EFA, as afirmativas referentes à relação do conteúdo com o cotidiano apresentaram os maiores percentuais de discordância: “6. Está claro para mim como o conteúdo do material educacional (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada) está relacionado a coisas que eu já sei/conheço” obteve 25%; já a questão “30. Eu poderia relacionar o conteúdo do material educacional (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada) a coisas que eu tenho visto, feito ou pensado a respeito em minha vida” totalizou 29%. Ainda assim, o Aluno 19, em sua resposta descritiva, salientou que aprendeu algo novo (RE5), surpreendente (AT2) e que está relacionado com seu cotidiano (RE4):

Aluno 19 - Eu gostei muito das aulas, e achei essa matéria muito interessante. Gostei muito do nosso professor e aprendi coisas que não fazia ideia, um exemplo bem simples, é "porque as lâmpadas não apagam todas de uma só vez em nossas casas, quando apagamos uma luz"? Porque as lâmpadas estão associadas no circuito em paralelo!! (RE4 – familiaridade; RE5 – aprender coisas novas; AT2 - aprender coisas surpreendente e inesperadas)

É interessante observar que, apesar de os alunos estarem em um curso técnico de Eletromecânica e reconhecerem que o material educacional é importante para a aprendizagem de Eletricidade (afirmativa 9 – 79% de concordância), a afirmativa 16, que versa sobre a relevância do material educacional para seus interesses, apresentou índices interessantes de neutralidade e de discordância (21% sem opinião e 25% de discordância parcial e total). A Figura 78 apresenta os percentuais obtidos em cada uma das questões pesquisadas na categoria *relevância*.

Figura 78 - Percentuais da categoria Relevância do questionário IMMS – IFSC



* No IMMS, as questões formuladas negativamente recebem valores reversos (de 5 a 1).

** Para a apresentação do gráfico, as afirmativas foram resumidas. O Anexo B apresenta o questionário IMMS na forma completa.

Fonte: Elaborada pela Autora.

Na categoria *satisfação*, assim como na avaliação dos alunos do EFA, a afirmativa 32, sobre a satisfação em finalizar as aulas com o material educacional disponibilizado, e a afirmativa 21, referente a gostar de estudar com o material educacional, obtiveram os percentuais mais altos de concordância – o que demonstra que os estudantes se sentem bem e realizados na experiência ofertada. Esse comportamento pode ser evidenciado nas respostas descritivas dos Alunos 3 e 9.

Aluno 3 - Particularmente eu gostei muito dos laboratórios [...] (SA6 - Gostar dos materiais/aulas).

Aluno 9 - Gostei de trabalhar sobre circuitos elétricos. (SA6 - Gostar dos materiais/aulas).

O Aluno 16 também destacou sua satisfação em aprender sobre circuitos elétricos, apesar de sentir dificuldade em acompanhar todas as aulas:

Aluno 16 - Para mim é uma experiência nova, não consegui acompanhar todas, mas as que eu consegui foi muito satisfatório. (SA2 - Satisfação no processo ou resultados).

Contudo, a afirmativa “36. Foi um prazer trabalhar em um material tão bem concebido/desenhado”, que apresentou percentuais de concordância significativos nas respostas dos alunos da EFA, entre os alunos do IFSC teve um dos menores índices de

concordância (46%). Nesse sentido, alguns alunos relataram dificuldades em trabalhar com os PDFs fornecidos pelo professor – o que pode ter afetado os níveis de *relevância*, bem como os níveis de *satisfação* e *confiança*, como pode ser evidenciado nos depoimentos dos estudantes:

Aluno 3 – [...] porém não gostei de trabalhar com os Pdf do livro, pois nele há muitas informações e equações que na maioria das vezes me confundiam muito (SA6 - Gostar dos materiais/aulas; AT1 – atratividade do material; AT6 – organização dos materiais/aulas).

Aluno 6 - [...] gostei dos formulários mas odiei os pdfs, a maioria das atividades parecia que eu não tinha aprendido, mas tenho certeza que a matéria é importante (SA6 - Gostar dos materiais/aulas; CO2 - Percepção de dificuldade/facilidade).

Aluno 8 – [...] em minha opinião os materiais em PDF eram complicados para que eu os entendesse e logo em seguida fizesse os exercícios (SA6 - Gostar dos materiais/aulas; CO2 - Percepção de dificuldade/facilidade).

Ainda sobre a categoria *satisfação*, é importante destacar os depoimentos relacionados à explicação do professor. O Aluno 2 afirmou estar muito satisfeito com a forma como o professor explicava o conteúdo; entretanto, os alunos 1 e 4 sentiram dificultados nesse aspecto:

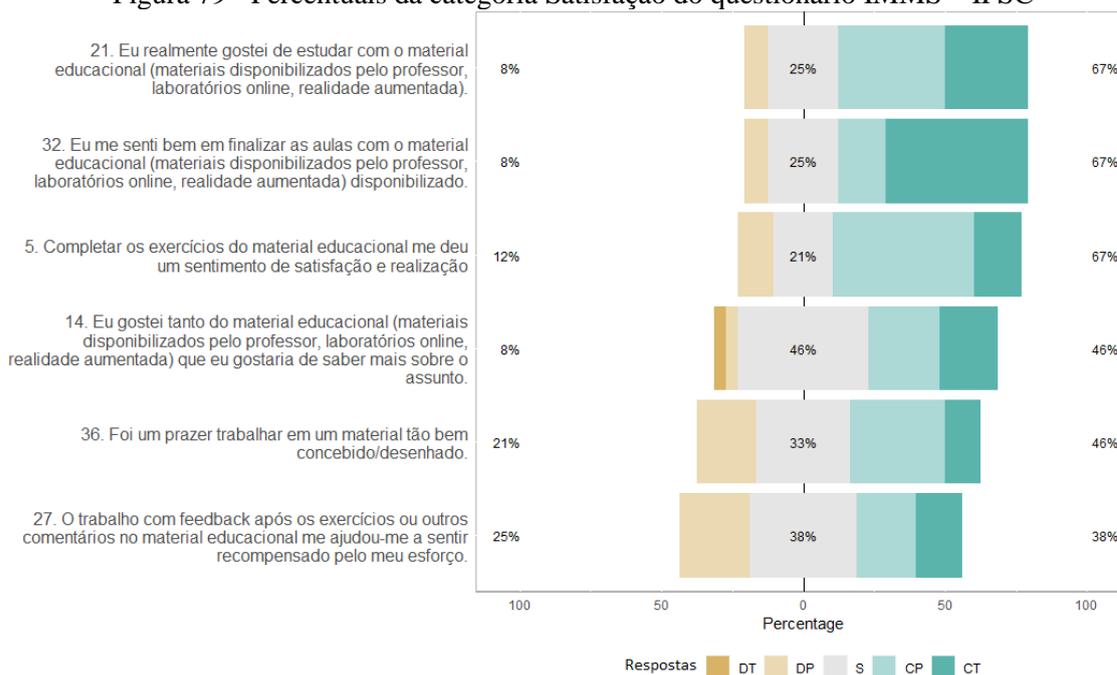
Aluno 2 - Foi muito bom aprender sobre eletricidade gostei muito parabéns ao professor que explicou muito bem (SA2 - Satisfação no processo ou resultados).

Aluno 1 - Não gostei do jeito que o professor explicava o conteúdo, ficava com várias dúvidas. (SA2 - Satisfação no processo ou resultados).

Aluno 4 - Poderia ser melhorado as explicações, que seriam mais interessantes se fossem mais diretas. (AT3 despertar o interesse; SA2 - Satisfação no processo ou resultados).

A Figura 79 apresenta os percentuais obtidos em cada uma das questões pesquisadas da categoria *satisfação*.

Figura 79 - Percentuais da categoria Satisfação do questionário IMMS – IFSC



* No IMMS, as questões formuladas negativamente recebem valores reversos (de 5 a 1).

Fonte: Elaborada pela Autora.

Analisando as respostas para a categoria *atenção*, percebe-se que, assim como a turma do EFA, os alunos do IFSC reconheceram que aprenderam coisas surpreendentes ou inesperadas que estimularam a curiosidade. Nesse sentido, a afirmativa 2 (referente à captação da atenção ao iniciar o conteúdo) e a afirmativa 24 (sobre ter aprendido coisas surpreendentes) obtiveram os melhores percentuais de concordância dessa categoria – 92% e 75%, respectivamente. Esses percentuais são refletidos nas respostas descritivas dos alunos, como a do Aluno 19, mencionada anteriormente, que ficou surpreso em aprender sobre os tipos de associação de resistores em um circuito. Os alunos 10 e 12 também relataram ter aprendido coisas inesperadas:

Aluno 10 - Gostei de aprender sobre os circuitos elétricos que tinham algumas coisas que eu nem imaginava (AT2 - aprender coisas surpreendente e inesperadas).

Aluno 12 - Foi uma experiência muito boa, aprendi sobre os circuitos que não fazia a mínima ideia que tinha, eu me confundia um pouco com as imagens mas no final deu tudo certo graças a Deus (AT2 - aprender coisas surpreendente e inesperadas).

Os laboratórios *online* parecem ter contribuído nos níveis de atenção, despertando o interesse dos alunos, como pode ser evidenciado nos depoimentos dos alunos 10 e 18.

Aluno 10 - Bom, a parte que eu mais gostei foi a de realidade aumentada, achei muito interessante e foi bem legal (AT3: despertar interesse).

Aluno 18 - Os materiais didáticos, laboratórios virtuais, remoto e realidade aumentada, foram muitos importantes, e despertaram meu interesse [...]

(AT3: despertar interesse).

Por outro lado, a afirmativa 22, relacionada à subcategoria variabilidade dos materiais educacionais, obteve percentuais significativos de discordância, assim como nos resultados apresentados pelos alunos do EFA, chegando a 54%. As afirmativas “11. A qualidade da escrita dos materiais didáticos ajudou a manter minha atenção” e “17. A forma como a informação do material educacional é organizada ajudou a manter minha atenção” também apresentaram índices altos de discordância. Nesse sentido, os problemas relacionados aos PDFs, já mencionados, podem ter afetado os níveis de atenção dos estudantes. Além disso, a quantidade de atividades também foi um item mencionado pelos estudantes como um problema, como pode ser observado nas descrições abaixo:

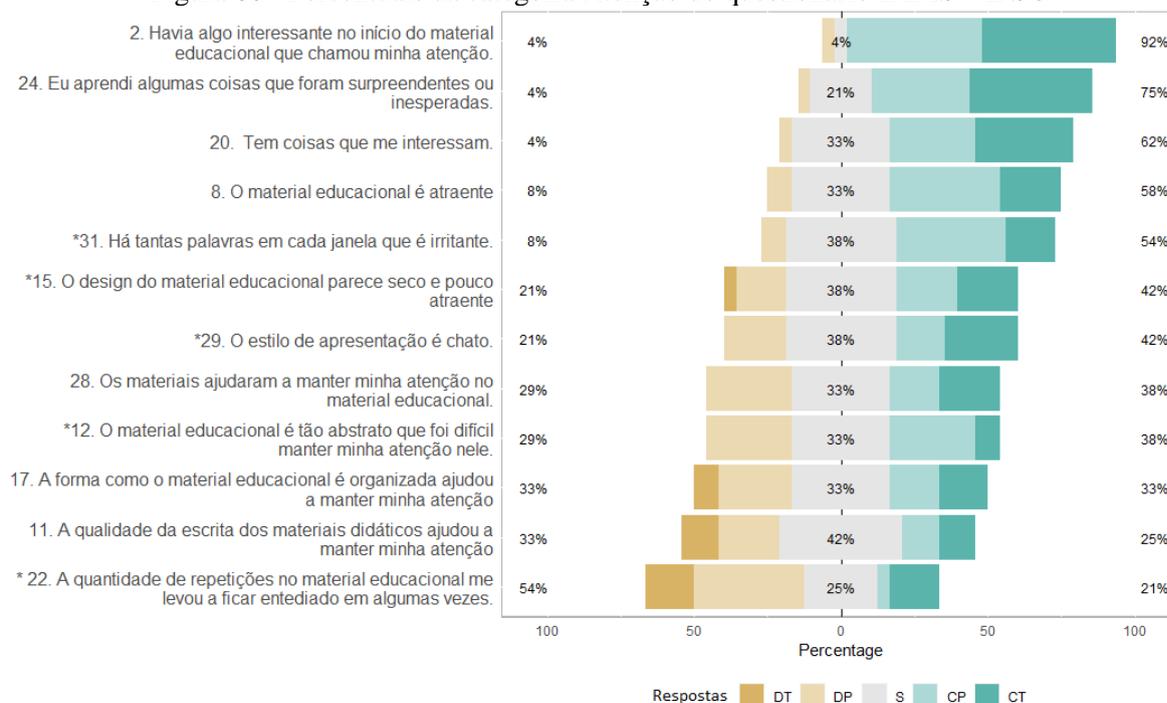
Aluno 9 – [...] só tive dificuldade em completar a quantidade de exercícios dadas (AT4 - variabilidade do material).

Aluno 11 – [...] Acho que deveria ter menos atividades (AT4 - variabilidade do material; CO2 – percepção de dificuldade e familiaridade).

Aluno 18 – [...] a forma com que ele foi organizado, me afetou um pouco, acredito que se os exercícios andassem junto com as aulas, eu teria um resultado melhor (AT6 – organização dos materiais/aulas).

A Figura 80 apresenta os percentuais obtidos em cada uma das questões pesquisadas na categoria *atenção*.

Figura 80 - Percentuais da categoria Atenção do questionário IMMS – IFSC



* No IMMS, as questões formuladas negativamente recebem valores reversos (de 5 a 1).

** Para a apresentação do gráfico, as afirmativas foram resumidas. O Anexo B apresenta o questionário IMMS na forma completa.

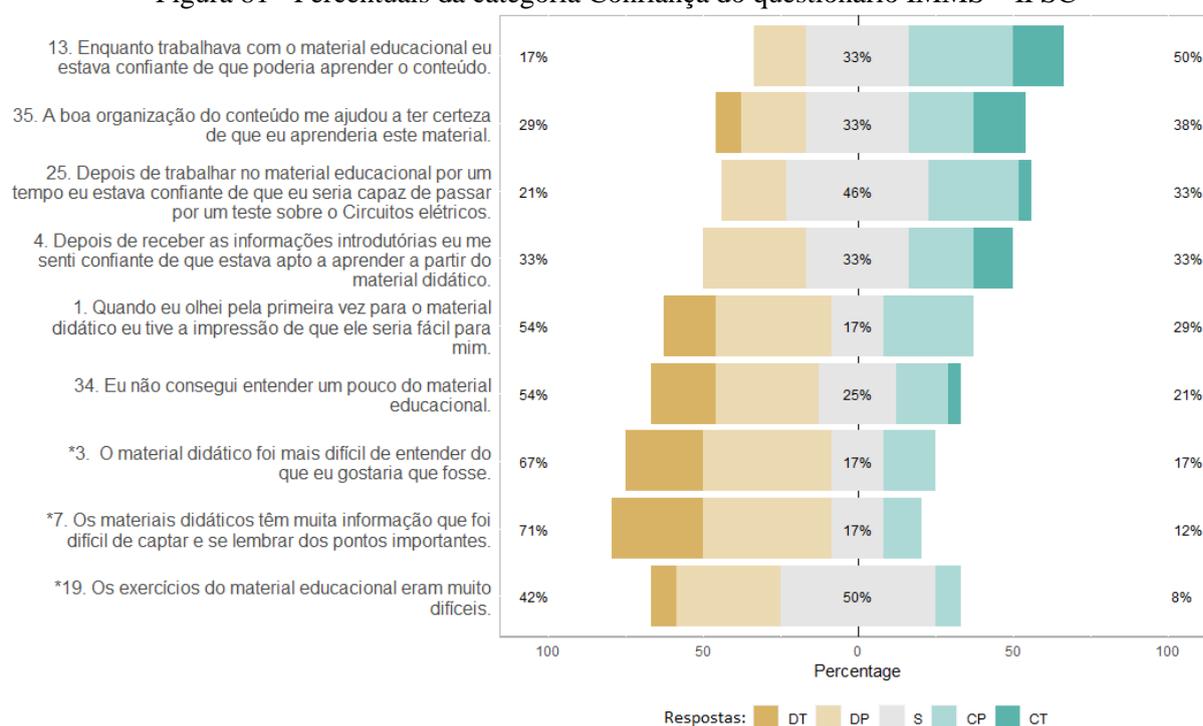
Fonte: Elaborada pela Autora.

Os resultados referentes à *confiança*, assim como no estudo apresentado anteriormente, obtiveram o menor escore médio entre as categorias. Entretanto, diferentemente da avaliação dos alunos do EFA, os resultados dos alunos do curso técnico permaneceram em uma tendência neutra a negativa ($\bar{X} = 2,77$, $\sigma = 1,09$).

As afirmativas 13 e 25, referentes a estarem confiantes em aprender com o material didático, obtiveram os melhores percentuais de concordância – apesar de ainda serem mais baixos quando comparado com os índices de concordância das demais categorias e dos alunos do EFA (Figura 81). A afirmativa referente à boa organização do conteúdo (afirmativa 35) também se destacou entre as questões dessa categoria, apresentando 38% de concordância.

Em contrapartida, as afirmativas sobre a dificuldade do material didático obtiveram os maiores percentuais de discordância (afirmativas 7, 3 e 19). A afirmativa 7 chegou à 71% de discordância, o que significa que a maioria dos alunos achou o conteúdo difícil (afirmativa reverse).

Figura 81 - Percentuais da categoria Confiança do questionário IMMS – IFSC



* No IMMS, as questões formuladas negativamente recebem valores reversos (de 5 a 1).

** Para a apresentação do gráfico, as afirmativas foram resumidas. O Anexo B apresenta o questionário IMMS na forma completa.

Fonte: Elaborada pela Autora.

Entre as respostas dissertativas, foram identificados aspectos sobre *confiança* em pelo menos oito relatos, principalmente referentes à percepção de dificuldade/facilidade. Dois relatos tiveram uma perspectiva positiva:

Aluno 8 - as aulas eram muito boas e de fácil entendimento [...] (CO2 – percepção de dificuldade/facilidade).

O Aluno 5, apesar de sentir dificuldades, reconheceu que obteve um bom desempenho:

Aluno 5 – Foi uma experiência ótima, tive algumas dificuldades em relação aos materiais de cálculos, fora isso acho que tive um bom desempenho (CO2 – percepção de dificuldade/facilidade; CO5 – confiança e expectativa positiva).

Entretanto, muitos alunos tiveram uma percepção de que aprender sobre circuitos elétricos é difícil:

Alunos 9 – [...] só tive dificuldade em completar a quantidade de exercícios dadas (CO2 – percepção de dificuldade/facilidade).

Aluno 11 - Achei muito legal, tive um pouco de dificuldade mais gostei, acho que deveria ter menos atividades (CO2 – percepção de dificuldade/facilidade).

Aluno 13 - É uma matéria muito interessante mais elas têm suas dificuldades (CO2 – percepção de dificuldade/facilidade).

Outros alunos relataram dificuldade em entender o conteúdo, admitindo que ficaram com dúvidas durante a aprendizagem:

Aluno 15 - Gostei da matéria, aprendi algumas coisas, mas fiquei com dúvidas em alguns pontos (CO3 – entendimento).

Aluno 17 - Em alguns momentos eu acabava não entendendo a matéria e eu pesquisava depois para tentar entender (CO3 – entendimento).

Aluno 19 - [...] Tive dificuldade na primeira e segunda Lei de Ohm, mas com base nos conteúdos dados, vídeo aulas, páginas e as aulas dadas, estou tentando aprender mais e entender melhor o conteúdo!! Um abraço professor! Muito obrigada por tudo que fez por nós! Sucesso!! (CO3 – entendimento).

Por fim, foi realizada uma análise qualitativa, a partir da análise de conteúdo, para observar uma possível relação entre os discursos dos alunos conforme seu estilo de aprendizagem. É interessante observar que, entre os 19 alunos que responderam a questão dissertativa, nenhum é convergente. As respostas dissertativas, portanto, corresponderam a seis alunos divergentes, seis alunos acomodadores e seis alunos assimilativos – em uma das respostas, não foi possível identificar o estilo do aluno, uma vez que ele não respondeu o inventário de Kolb.

Entre as respostas dos estudantes divergentes, nenhum dos relatos mencionaram questões sobre *confiança*, nem em perspectiva positiva, nem negativa. Dois alunos relataram problemas com as explicações do professor; em contrapartida, um aluno divergente se sentiu muito satisfeito com a forma como o professor explicava o conteúdo. Também foi destaque entre os alunos divergentes os laboratórios *online*. A Tabela 75 apresenta um resumo dos principais pontos levantados pelos alunos divergentes, em uma perceptiva positiva e negativa.

Tabela 75 - Principais pontos levantados pelos alunos divergentes

Positivo	Cód. Análise
Laboratórios <i>online</i> (Aluno 3; Aluno 4)	SA6; RE3
Explicações do professor (Aluno 2)	SA2
Aprender coisas surpreendentes (Aluno 12)	AT2
Aprender coisas novas (Aluno 7)	RE5
Negativo	Cód. Análise
Problemas com os PDFs (Aluno 3)	SA6; AT1; AT6
Explicações do professor (Aluno 1; Aluno 4)	SA2

Fonte: Elaborada pela Autora.

Os alunos assimiladores, conforme Kolb, se interessam na experimentação ativa na hora de aprender; essa característica se refletiu nas respostas dos alunos para a questão dissertativa. O destaque aos laboratórios *online* para a aprendizagem ficou, especialmente, entre os relatos desses alunos. É verdade que os laboratórios *online* foram destaque entre os relatos dos alunos divergentes e assimiladores, mas os alunos acomodadores reconheceram, principalmente, a utilidade desses para o seu aprendizado, destacando-os como essenciais, muito importantes e com potencial para despertar o interesse.

Em contrapartida, foram os acomodadores que mais relataram problemas relacionados à categoria *confiança*, apresentando dificuldades na aprendizagem. A Tabela 76 apresenta um resumo dos principais pontos levantados pelos alunos acomodadores, em uma perceptiva positiva e negativa.

Tabela 76 - Principais pontos levantados pelos alunos acomodadores

Positivo	Cód. Análise
Laboratórios <i>online</i> (Aluno 18; Aluno 14)	AT3; RE3
Aprender coisas surpreendentes (Aluno 19)	AT2
Explicações do professor (Aluno 19)	SA2
Negativo	Cód. Análise
Dificuldades em aprender (Aluno 5; Aluno 13; Aluno 17; Aluno 19)	CO2; CO3

Fonte: Elaborada pela Autora.

Já os alunos assimiladores apresentaram dificuldades em utilizar os PDFs disponibilizados pelo professor – apesar de, segundo Kolb, os assimiladores terem mais facilidade com modelos teóricos. A quantidade de exercícios também foi um problema para esses alunos. A Tabela 77 apresenta um resumo dos principais pontos levantados pelos alunos assimiladores, em uma perceptiva positiva e negativa.

Tabela 77 - Principais pontos levantados pelos alunos assimiladores

Positivo	Cód. Análise
Realidade Aumentada (Aluno 10)	AT3
Aprender coisas novas (Aluno 15)	RE5
Fácil entendimento (Aluno 8)	CO2
Negativo	Cód. Análise
Dificuldades em aprender (Aluno 15)	CO3
Muitas atividades (Aluno 11, Aluno 9)	CO2; AT4
Problemas com os PDFs (Aluno 6; Aluno 8)	SA6; AT1; AT6

Fonte: Elaborada pela Autora.

Entretanto, os aspectos positivos citados por eles versam na facilidade em entender o conteúdo, a oportunidade de aprender coisa novas e o potencial da Realidade Aumentada de despertar o interesse.

4.4.5 Discussão dos resultados

Esta tese objetivou conduzir investigações a fim de verificar os impactos no uso de Laboratórios Remoto, Virtual e Remoto Aumentado, a partir dos preceitos da Teoria de Aprendizagem Experiencial, para o ensino de circuitos elétricos no contexto do ERE, em termos de desempenho conceitual e motivação. Desse modo, esta seção pretende discutir os principais resultados da investigação, relacionando-os com as questões norteadoras da pesquisa:

- *Questão 1: O uso dos Laboratórios Remoto, Virtual e Remoto Aumentado, inseridos em um Ciclo de Kolb, contribui para a melhora no desempenho conceitual na aprendizagem de circuitos elétricos?*

No que tange ao desempenho conceitual dos participantes pesquisados, a análise dos resultados mostra que as estratégias pedagógicas elaboradas a partir do Ciclo Experiencial de Kolb apoiadas pelo uso de laboratórios *online* têm potencial para contribuir no desempenho conceitual dos estudantes, auxiliando-os a superarem as dificuldades de aprendizagem comumente enfrentadas no estudo de circuitos elétricos.

Os resultados estatísticos, realizados a partir das avaliações diagnóstica e conceitual em cada etapa do processo educacional, revelaram progressões significativas nas duas amostras analisadas. Estes resultados vão ao encontro de pesquisas realizadas com laboratórios *online* no âmbito do ensino de Física, tais como o estudo de: Dorneles (2010), que observou um efeito positivo de atividades com simulações computacionais para aprimorar o aprendizado no ensino

de circuitos elétricos; Garcia-Zubia et al. (2016), que evidenciou que a utilização de laboratório remoto contribuiu significativamente para o desempenho dos estudantes em diferentes contextos, e; Altmeyer et al. (2020), Ferrer-Torregrosa et al. (2016) e Thees et al. (2020), trabalhos que observaram o efeito positivo do uso de Realidade Aumentada para a educação – além do estudo de Abdulwahed e Nagy (2011), esse mais próximo ao realizado nesta investigação, que evidenciou o impacto positivo da aplicação dos diferentes tipos de laboratórios para o ensino experiencial no curso de engenharia.

Analisando os dados a partir do ganho normativo de Hake, pode-se observar que, em todas as avaliações (de cada ciclo e geral), os alunos obtiveram um ganho considerado médio segundo os parâmetros da fórmula (HAKE, 1998), com resultados muito similares entre as turmas. Os valores de g ficaram acima de 0,40, sendo que na avaliação final chegaram a 0,60 ponto para ambas as amostras. Esses resultados são compatíveis com aqueles adotados pela literatura internacional para turmas submetidas a métodos de engajamento interativo; ou seja, métodos que promovem a compreensão conceitual por meio do envolvimento interativo dos alunos em atividades diretas e práticas (HAKE, 1998). De Araujo et al. (2016), que exploram o método *Peer Instruction* para o ensino de circuitos elétricos – e que de forma semelhante ao estudo desta tese utilizaram o questionário de Silveira (1989) –, obtiveram ganhos normativos entre 0,12 a 0,37 de sete turmas de ensino médio do Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ). Diante disso, os resultados obtidos no âmbito desta tese sugerem que as estratégias elaboradas contribuem de forma significativa no desempenho conceitual dos estudantes.

Quanto aos objetivos de aprendizagem que deveriam ser alcançados pelos alunos ao fim do ensino de circuitos elétricos (conforme Tabela 22 da seção 4.4.1), observa-se a partir da análise descritiva do questionário de Silveira (1989) que as questões relacionadas:

- aos objetivos “*a) a corrente elétrica que circula pelos resistores é a mesma*”, e; “*e) as divisões de correntes em uma junção do circuito (divisor de corrente) dependem do que existe no restante do circuito*” tiveram os melhores aproveitamentos.
- ao objetivo “*f) a resistência equivalente diminui (aumenta) quando um resistor é inserido (retirado) em uma associação em paralelo*” obteve os índices menores de aproveitamento, com aumento discreto entre as avaliações diagnóstica e conceitual em ambas as turmas.
- aos objetivos “*g) identificar que uma lâmpada é um resistor e, portanto, os comportamentos observados em relação a resistores se manifestam também com lâmpadas*”, e; “*h) associar o brilho de uma lâmpada à corrente elétrica*”, obtiveram

bons resultados, se considerarmos que todas as questões estão relacionadas com esses objetivos.

Contrastando com achados de pesquisas anteriores, foi possível perceber resultados importantes, similares aos encontrados por Dorneles et al. (2010), que exploraram simulações computacionais com alunos do ensino superior à luz da Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel; e substancialmente melhores do que aqueles encontrados por Andrade et al. (2018), obtidos em aulas tradicionais com alunos do mesmo nível escolar dos pesquisados nesta tese. Para Dorneles et al. (2010), as simulações computacionais e atividades de modelagem podem ajudar na superação de dificuldades de aprendizagem normalmente enfrentadas na aprendizagem de circuitos elétricos.

De fato, o uso das novas tecnologias na educação oferece novas oportunidades para criar novas formas de ensinar; entretanto, o uso desordenado e sem planejamento pode gerar resultados negativos. Mais do que aproveitar tais tecnologias, é preciso gerar estratégias pedagógicas que envolvam o aluno em um processo ativo, de modo que eles estejam engajados, realizando atividades que estabelecem relações com o contexto, desenvolvam estratégias cognitivas e a construção de conhecimento (VALENTE; DE ALMEIDA; GERALDINI, 2017).

Abdulwahed e Nagy (2011) afirmam que o baixo rendimento dos estudantes em práticas laboratoriais tradicionais se deve, principalmente, à falta da dimensão de “preensão” do modelo de Kolb, ou seja, a dimensão de captura da experiência, o processo de coleta de informações (etapas de Experiência Concreta e Conceituação Abstrata). A flexibilidade dos laboratórios *online* potencializa a observação, reflexão e transformação da experiência em conhecimento, o que, muitas vezes, não acontece em um laboratório prático, em uma única demonstração. E, conforme os autores, a combinação de sessões de laboratório com diferentes tecnologias maximizam a retenção de informações, ativando os estágios do ciclo de aprendizado.

Ao olhar as particularidades dos diferentes tipos de laboratório *online*, percebe-se que cada um possui potencial para ativar diferentes etapas do ciclo, conforme o objetivo de aprendizagem explorado. Como já era de se esperar, todos os laboratórios *online* têm potencial para ativar a Experimentação Ativa. Entretanto, a versatilidade dos laboratórios virtuais permite que esses sejam explorados em outras etapas do ciclo. Particularmente, o kit de montagem de circuitos elétricos do PhEt utilizado nessa tese tem potencial para ativar a Experiência Concreta, uma vez que possibilita a montagem livre de circuitos elétricos no ambiente virtual, permitindo que os alunos explorem os elementos necessários para o funcionamento de um circuito elétrico, relacionando-os com o cotidiano. Conforme Feitosa e Lavor (2020), a possibilidade de projetar circuitos livremente no laboratório virtual contribui para o envolvimento e motivação em

aprender, resultando em bons resultados educacionais.

Por sua vez, o laboratório remoto, que possui uma estrutura real e pronta, prioriza a interação – e essa interação em alguns momentos pode ser conduzida a partir da Observação Reflexiva e, em outros, na perspectiva de Experiência Concreta, trazendo questões do dia a dia para analisar a estrutura disponível. Para Rodriguez-Gil et al. (2017), a principal vantagem desses laboratórios é a possibilidade de interação com equipamentos reais, permitindo uma análise de problemas práticos do mundo real mesmo que de forma *online*.

O laboratório remoto aumentado, por sua vez, permite avançar na relação entre teoria e prática, trazendo elementos virtuais a partir dos reais, que ajudam na abstração do conhecimento. O LRA desenvolvido no âmbito dessa tese permite que os alunos visualizem os resultados numéricos dos circuitos reais e contrastem com a teoria estudada, ajudando na Conceituação Abstrata – além dos elementos virtuais, que dão visibilidade a fenômenos reais que não são visíveis por uma câmera comum dos laboratórios remotos.

O potencial dos laboratórios *online* para ativação dos estágios dos ciclo de aprendizagem experiencial pode ser percebido por meio das experiências realizadas: (EC) o aluno consegue perceber como “os circuitos elétricos estão presentes no dia a dia e oportuniza uma visão real dos circuitos, ajudando no melhor entendimento dos conceitos” (relatos dos alunos); (OR) o aluno observa suas experiências de diferentes perspectivas: o laboratório remoto, o laboratório virtual e o laboratório remoto aumentado; (CA) o estudante é capaz de desenvolver conceitos que integrem suas observações em teorias lógicas; “contribui no aprendizado, já que eles permitem visualizar e testar a teoria” (relatos dos alunos), e; (EA) permite a aplicação prática dos conceitos teorizados.

- *Questão 2: O uso dos Laboratórios Remoto, Virtual e Remoto Aumentado, inseridos em um Ciclo de Kolb, contribui igualmente para a melhora no desempenho conceitual de alunos de diferentes estilos de aprendizagem?*

Foi possível observar algumas diferenças na progressão no desempenho conceitual entre os estilos de aprendizagem. Entretanto, tais resultados precisam ser analisados com cautela. O número da amostra de cada estilo é uma limitação importante do estudo e, portanto, é difícil fazer uma relação direta entre estilo e desempenho. Todavia, seguem algumas considerações dos resultados obtidos.

Ao contrastarmos os resultados das duas amostras, algumas questões são observadas. Primeiramente, os alunos divergentes apresentaram resultados mais consistentes entre as duas

turmas. A progressão conceitual desses alunos foi destaque em ambos os estudos, obtendo um dos melhores resultados nas duas amostras, tanto quando observamos a diferença entre as médias das avaliações (diagnóstica avaliação conceitual), quando observados o ganho normalizado de Hake, chegando a um g de 0,69 entre os alunos divergentes do IFSC.

Os alunos divergentes, conforme Kolb (2017), captam a experiência pela *apreensão* (EC) e transformam pela *intenção* (OR), de modo que se beneficiam na observação das situações a partir de diferentes perspectivas. Nesse sentido, é possível evidenciar, a partir dos ciclos desenvolvidos e dos resultados obtidos nas respostas descritivas dos alunos, que o ciclo de Kolb para inclusão de diferentes tipos de experiências práticas permitiu a observação dos conceitos por diferentes ângulos, oferecidos por cada tipo de laboratório, além do potencial desses recursos para relacionar os conceitos científicos com o cotidiano dos alunos.

Por outro lado, os alunos convergentes não apresentaram progressão estatisticamente significativa em nenhuma das amostras. Porém, ao observarmos os dados de forma detalhada, podemos perceber que os motivos para tais resultados são diferentes para cada turma. Os alunos convergentes do EFA apresentarem valores médios mais altos em ambas as avaliações, o que reflete no resultado do teste estatístico; e ao observar o ganho de Hake percebe-se um ganho importante, ficando entre os mais altos encontrados na turma.

Por sua vez, os alunos convergentes do curso técnico do IFSC obtiveram notas baixas nas duas avaliações, apresentando um ganho de aprendizagem baixo, conforme parâmetros de Hake. Uma provável causa levantada pela autora para essa dificuldade foram os problemas enfrentados pelos alunos com os materiais de leitura (PDFs). Nesse sentido, os convergentes se beneficiam em ambientes que oferecem ênfase na recordação e abstração de conceitos (CA), e na aplicação desses conceitos em situações práticas (EA). A etapa CA foi explorada, especialmente, com aulas expositivas remotas e materiais de leitura, e entre as respostas descritivas dos alunos podemos encontrar dificuldades dos alunos com os materiais de textos e as explicações do professor. Entretanto, é importante lembrar que o número da amostra de alunos convergentes do IFSC representa uma limitação importante para o estudo, o que torna difícil realizar uma análise profunda.

- *Questão 3: Quais as percepções dos estudantes no nível de motivação, em termos de Atenção, Relevância, Confiança e Satisfação (ARCS), ao participar de uma atividade de ensino e aprendizagem baseada no Ciclo Experiencial de Kolb com apoio dos Laboratórios Remotos, Virtuais e Aumentados?*

O sucesso educacional está intimamente relacionado a fatores motivacionais. E, conforme Keller (1987), esses fatores motivacionais envolvem atenção, curiosidade, satisfação em aprender, visualização da relevância do assunto estudado e sentimentos de confiança. Quando esses elementos estão em uma direção positiva, existe uma maior probabilidade de altos níveis de esforço, promovendo atitude favorável durante o processo de aprendizagem.

Nesse sentido, os resultados evidenciados demonstram indícios positivos de que as estratégias pedagógicas elaboradas a partir do Ciclo Experiencial de Kolb, apoiado pelo uso de laboratórios *online* para o ensino de circuitos elétricos, é capaz de motivar os estudantes no contexto do ERE – especialmente nas esferas da relevância, satisfação e atenção. As evidências coletadas demonstram que o modelo contribuiu para o ensino, elevando o estado de concentração e de satisfação, além de levar os alunos a compreender a importância do conteúdo estudado.

No atual cenário da pandemia da Covid-19, manter os alunos motivados, sem o apoio presencial dos professores e a interação com os colegas, tem sido um grande desafio. Estudos realizados em diferentes países durante a pandemia demonstraram que, apesar do ensino remoto emergencial ter sido implementado com sucesso, muitos alunos demonstraram-se desmotivados, encontrando dificuldades para se manter concentrados nos estudos (LASSOUED; ALHENDAWI; BASHITALSHAAER, 2020; NIEMI; KOUSA, 2020).

Os resultados referentes à categoria *relevância* foram destaque nas duas unidades de análise, EFA e IFSC. Os alunos, muitas vezes, se perguntam se o conhecimento a ser construído tem relação com seus objetivos e, por vezes, se motivam a partir dessa informação (KELLER, 2009). Porém, Keller (2009) acrescenta que a relevância pode vir da maneira como algo é ensinado, não, necessariamente, do próprio conteúdo.

Corroborando com essa afirmativa, os resultados revelam que os alunos reconheceram a importância dos conteúdos abordados e a utilidade das ferramentas empregadas durante o ensino. As respostas dos alunos a questão aberta sugerem que a percepção de relevância, especialmente quanto ao aspecto de utilidade, foi relacionada à utilização dos laboratórios *online*. Viegas et al. (2018) descobriram em seu estudo com laboratório remoto que a percepção do aluno sobre aprendizagem está correlacionada com sua satisfação ao utilizar a ferramenta, demonstrando que quanto mais os alunos sentiam que a ferramenta ajudaria seu aprendizado, mais satisfeitos estavam com ele.

Sabe-se da importância da prática laboratorial no ensino de Física, e que a falta dela pode trazer consequências negativas – principalmente, em termos de motivação. Portanto, essas ferramentas *online* são indispensáveis para o ensino remoto emergencial das áreas vinculadas à STEM. Contudo, não somente para o ERE, esses recursos têm mostrado importantes

contribuições para o ensino prático. Pesquisadores concordam que os laboratórios *online* não podem ser vistos apenas como mais uma ferramenta educacional, mas sim uma nova forma de relação com a ciência, uma ligação diferente entre o indivíduo e o conhecimento, que se distancia da didática tradicional (de transferência do conteúdo) e se aproxima das atuais demandas, que necessitam de um trabalho voltado para o desenvolvimento de habilidades e competências (SANTOS, 2018; SILVA; MELO, 2016; ALBU, 2014; BOTTENTUIT; JUNIOR; COUTINHO, 2007; TEIXEIRA; BRANDÃO, 2003).

Moran, Masseto e Behrens (2013) afirmam que os *softwares* simuladores estão para o ensino de ciência como o indivíduo está para o computador: cada dia mais próximos e conectados, oportunizando a produção de saberes por meio da interação, bem como desenvolvendo habilidades como coordenação, percepção, memória, raciocínio-lógico e criação, de forma significativa.

A motivação é destaque em diferentes estudos que exploram laboratórios *online* na educação (BISHOP et al., 2021; CHITUNGO et al., 2020; FEITOSA; LAVOR, 2020; RAMÍREZ-HERNÁNDEZ; MONTESINOS-CASTELLANOS, 2017; VIEGAS et al., 2018). Entre as ferramentas computacionais exploradas nessa pesquisa, a RA tem se destacado em termos motivacionais nos últimos anos (FERRER-TORREGROSA et al., 2016; SÁEZ-LÓPEZ et al., 2020), assim como no aumento do desempenho acadêmico (CABERO-ALMENARA; BARROSO-OSUNA, 2016), (FERRER-TORREGROSA et al., 2016). Garzon e Acevedo (2019), em sua meta-análise, afirmam que a motivação tem sido descrita por muitos estudos como uma das vantagens mais importantes dos sistemas de RA na educação. Nesse sentido, resultados evidenciados nessa tese vão ao encontro dos achados de Gazon e Acevedo (2019), uma vez que foi possível evidenciar, entre as respostas descritivas, ênfase no uso da RA como fator motivador – seja na perspectiva de utilidade, interesse ou familiaridade.

É verdade que as novas tecnologias, de modo geral, têm potencial para motivar os alunos a aprender (MARTÍN-GUTIÉRREZ et al., 2015). Contudo, para Ferrer-Torregrosa, et al. (2016), o principal diferencial da RA é a possibilidade de visualização e interação com modelos 3D de forma atraente e intuitiva. Giasiranis e Sofos (2017) acrescentam que a RA contribui na participação ativa dos estudantes nos processos educacionais, promovendo a concentração e a compreensão dos conteúdos ensinados.

O LRA desenvolvido no âmbito dessa tese oportunizou aos estudantes a visualização e interação de modelos virtuais em experimentos reais remotos. Estando em sintonia com Cabero-Almenara e Barroso-Osuna (2016), que descrevem como principais características da RA: o enriquecimento da informação; o entendimento de fenômenos e conceitos complexos; a

aprendizagem onipresente e contextualizada; o aumento da motivação com valores muito positivos de satisfação; além de melhorar os resultados acadêmicos.

Apesar da limitação da literatura sobre o uso dos laboratórios remotos aumentados na perspectiva motivacional, como apresentado na revisão da literatura, alguns estudos qualitativos corroboram com os achados dessa investigação, demonstrando que a RA tem potencial para contribuir na motivação dos estudantes ao realizar experiências remotas e, conseqüentemente, gerar melhores resultados educacionais.

Conforme Mejías e Andújar (2012), o LRA auxilia na compreensão de conceitos teórico-práticos, estimulando a curiosidade e a motivação em aprender. Outra característica dos LRAs consiste no fato de apresentarem indícios favoráveis para a manutenção da atenção dos seus usuários, quando comparados a outras tecnologias educacionais. Rodriguez-Gil et al. (2017) compararam um LRA, simulações e laboratórios remotos, evidenciando que os LRA têm maior potencial para manter a atenção dos estudos. De forma semelhante, Odeh, Shanab e Anabtawi (2015), que realizaram um estudo comparativo entre LRA, laboratório *hands-on* e laboratório virtual no ensino de circuitos elétricos, concluíram que os alunos que utilizaram esse novo formato de laboratório obtiveram melhores resultados na elucidação dos conceitos discutidos em aula, sendo então considerado um sistema eficaz para aprimorar seu conhecimento teórico (ODEH; SHANAB; ANABTAWI, 2015).

Os resultados aqui apresentados revelam que a união dos benefícios de cada um dos laboratórios *online* tem impacto positivo em termos motivacionais no ensino experiencial de circuitos elétricos de nível médio. Santos (2018), que pesquisou o uso de laboratórios *online* (remoto e virtual) em sequências didáticas investigativas para o ensino de biologia em nível médio, afirma que, quando associadas a uma metodologia de ensino adequada, a combinação de laboratórios contribui para a motivação e proporciona melhor compreensão dos conteúdos, tornando a aprendizagem mais eficaz. Abdulwahed e Nagy (2011), que utilizaram a teoria de Kolb para combinar laboratórios remotos, virtuais e *hands-on*, destacam o impacto positivo que a aplicação dos diferentes objetivos de aprendizagem desses laboratórios traz para o ensino, tanto para os resultados educacionais, quanto para a motivação dos alunos.

É importante destacar que os resultados referentes à *confiança* apresentaram uma tendência neutra a negativa, sendo significativamente menor que os índices das outras dimensões pesquisadas. Ao observar por unidade de análise, percebe-se que houve uma variação acentuada entre as amostras, e os alunos do IFSC demonstraram estar menos confiantes que os alunos do EFA.

A *confiança* refere-se ao nível de expectativa de sucesso que o aprendiz acredita possuir

em cada atividade desenvolvida; ou seja, quanto mais bem-sucedida for a experiência do aluno, mais motivado ele estará para melhorar seu aprendizado e desempenho (KELLER, 2009). Portanto, especialmente para os alunos do IFSC, as estratégias pedagógicas contribuíram para a aprendizagem do conteúdo; porém, nas percepções dos estudantes, não o suficiente para garantir resultados satisfatórios em testes sobre o tema. Esses resultados são consistentes com os resultados de estudos anteriores que utilizam o IMMS como instrumento de coleta de dados (IBÁÑEZ et al., 2020; JULIÀ; ANTOLÍ, 2019; TUNUR et al., 2021).

Conforme os resultados dos testes estatísticos, foi possível observar uma diferença significativa entre as amostras nas categorias *atenção*, *satisfação* e, especialmente, na *confiança*, demonstrando que os alunos do EFA apresentaram melhores resultados nos níveis de motivação dessas três categorias. Nessa perspectiva, é importante ressaltar que as amostras estudadas representam duas populações distintas; os alunos do IFSC, apesar de estarem em um curso técnico, possuem menor idade e estão na transição entre o ensino fundamental e médio. Os alunos do EFA, por sua vez, estavam encerrando o ensino médio.

Outra diferença substancial é o tipo de instituição; Ibáñez et al. (2020) que utilizaram o instrumento de coleta de dados IMMS para verificar a motivação dos alunos ao aprender com RA, identificaram uma diferença estatisticamente significativa entre os resultados das escolas públicas e privadas, de modo que os alunos das escolas privadas apresentaram maiores níveis de motivação (média = 4,4) em relação às escolas públicas (média = 3,79). São resultados bem similares aos encontrados nas turmas de EFA e de IFSC. Apesar dos alunos do IFSC não relatarem problemas técnicos ao acessarem as ferramentas, sabe-se que o perfil tecnológico dos estudantes de escolas públicas e privadas costuma ter diferenças importantes (IBGE, 2020), e a falta de dispositivos adequados, acesso à Internet de baixa qualidade e familiaridade no uso das TIC podem afetar os níveis motivacionais dos estudantes – e essa correlação fica ainda mais evidente no contexto do ensino remoto emergencial.

Outra questão a ser refletida é que cada amostra contou com um professor diferente. Nesse sentido, Viegas et al. (2018) encontraram correlação significativa entre o envolvimento dos professores no uso do laboratório remoto e no desempenho conceitual, percepção de aprendizagem e satisfação com a ferramenta. Conforme os autores, a influência do professor pode não estar diretamente relacionada ao uso do LR pelo aluno, mas, sim, em ajudá-lo a entender a utilidade da ferramenta para aproveitá-la ao máximo. Talvez, o formato de ensino totalmente a distância do ERE pode ter afetado o envolvimento do professor no uso dos laboratórios, uma vez que as atividades com os laboratórios, especialmente na turma de alunos do IFSC, foram realizadas extraclasse. No entanto, por meio dos resultados apresentados no

âmbito dessa tese, não é possível inferir sobre o envolvimento dos professores no uso dos laboratórios. Contudo, temos indícios, por meio dos dados qualitativos, que os demais materiais educacionais utilizados (PDFs e exercícios) podem ter influenciado negativamente nos níveis motivacionais dos alunos do IFSC.

Também é preciso considerar que o IMMS foi respondido por apenas 10 alunos do EFA; ou seja, uma taxa de participação menor que 50%. A não participação dos estudantes foi justificada pela falta de tempo devido aos compromissos de fechamento do ensino médio. Essa situação pode representar um viés do estudo, uma vez que os alunos menos motivados podem não ter respondido ao questionário.

- Questão 4: *Há diferença nos níveis de motivação percebidos pelos estudantes conforme o estilo de aprendizagem apresentado por eles?*

Conforme testes estatísticos, observados na análise dos dados, não foi encontrada diferença significativa entre os estilos de aprendizagem quanto às suas percepções nos níveis de motivação. Esse é um resultado importante, visto que a utilização do ciclo de aprendizagem experiencial de Kolb objetiva oportunizar aos alunos a passagem pelos quatro modos de adaptação de forma que, independentemente do seu estilo de aprendizagem, o indivíduo possa aproveitar o processo de aprendizagem – além, é claro, de estimular o desenvolvimento de novas habilidades.

Os resultados descritivos sugerem que os alunos divergentes e convergentes apresentaram maiores níveis de motivação, enquanto os assimiladores apresentaram o menor escore médio. Os divergentes foram os alunos que melhor avaliaram o aspecto *relevância*. Ao analisar as respostas descritivas desses alunos, os principais pontos levantados por esses alunos são: laboratórios online; explicações do professor; aprender coisas novas e surpreendentes.

Por outro lado, os alunos assimiladores apresentaram o menor nível de motivação, principalmente em relação à categoria *confiança*. Esse resultado pode sofrer influência devido as diferenças encontradas entre unidades de análise no nível motivacional. Os alunos do IFSC são em maior número – e quase 45% são assimiladores; e os testes estatísticos mostraram que existe diferença estatística entre as turmas nas categorias *atenção*, *confiança* e *satisfação*, de modo que os alunos do EFA apresentaram melhores resultados nessas categorias. Entre os relatos dos alunos assimiladores do IFSC, percebe-se que esses alunos apresentaram dificuldades com os PDFs e com a quantidade de exercícios disponibilizada pelo professor.

De modo geral, os escores médios encontrados para o nível de motivação para todos os

estilos de aprendizagem ficaram em uma tendência positiva, considerando, portanto, que aprender com os laboratórios *online* em um ciclo de aprendizagem experiencial proporciona bons níveis de motivação.

É importante destacar a transformação que o ensino remoto emergencial representou nos processos de ensino e aprendizagem. Alunos que nunca tinham experimentado o ensino a distância, totalmente mediado pelas tecnologias, tiveram que, repentinamente, se reajustar a esse novo formato de aprender. Nesse contexto, aspectos como apoio dos pais, problemas técnicos e habilidades de autogestão afetam diretamente o desempenho acadêmico (LASSOUED; ALHENDAWI; BASHITALSHAAER, 2020). Dessa forma, disponibilizar recursos tecnológicos diversificados e atrativos foram essenciais para envolver os alunos nesse novo ambiente de aprendizado remoto.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com objetivo de investigar se o uso de laboratórios *online*, a partir dos preceitos da Teoria de Aprendizagem Experiencial, tem potencial para interferir positivamente no desempenho conceitual e na motivação ao aprender sobre circuitos elétricos no contexto do ERE, ao longo desta tese, quatro estudos principais foram conduzidos, contabilizando dados de 230 participantes – sendo 148 oriundos dos três estudos preliminares e 82 do estudo final.

A pesquisa contemplou o desenvolvimento de um Laboratório Remoto Aumentado, do qual um laboratório remoto existente foi complementado com objetos virtuais de RA, a fim de apoiar o ensino dos conceitos básicos de eletricidade. Com isso, foram desenvolvidos três estudos exploratórios preliminares a fim de validar a ferramenta desenvolvida. O primeiro estudo teve como objetivo testar, revisar e aprimorar a tecnologia desenvolvida e verificar as possibilidades da inclusão dos diferentes tipos de laboratórios nas práticas pedagógicas. Entre os resultados, verificou-se oportunidades de melhorias da tecnologia desenvolvida, além de estratégias necessárias para a aplicação desse tipo de recurso em sala de aula. O segundo estudo foi conduzido com objetivo de verificar a usabilidade pedagógica das ferramentas junto a futuros professores da área. A partir dos resultados, foi possível constatar a utilidade e a adequação do Laboratório Remoto Aumentado aos objetivos de aprendizagem propostos.

Fez-se necessária, ainda, a realização de um terceiro estudo, devido ao contexto da pandemia da Covid-19, a fim de validar a ferramenta no contexto do ensino remoto emergencial. Os resultados evidenciados demonstraram indícios positivos em relação ao uso do LRA como ferramenta educacional capaz de motivar os estudantes no contexto do ERE – especialmente nas esferas da atenção, da relevância e da satisfação.

Por fim, o estudo final foi desenvolvido contemplando a inclusão de diferentes tipos de laboratórios *online* nas práticas educacionais no ensino de circuitos elétricos, inseridos em um Ciclo Experiencial de Kolb. Os resultados demonstraram que as estratégias pedagógicas elaboradas contribuíram no desempenho conceitual dos estudantes, auxiliando-os na superação de dificuldades de aprendizagem frequentemente enfrentadas no estudo de circuitos elétricos. A aplicação se mostrou capaz de motivar os estudantes, elevando o estado de concentração e de satisfação, além de levar os alunos a compreender a importância do conteúdo estudado.

As principais contribuições dessa tese versam na proposição de estratégias pedagógicas para a combinação de diferentes tipos de laboratórios *online* a partir de uma teoria de aprendizagem consolidada e no desenvolvimento de laboratório *online* híbrido, fazendo uso de Laboratório Remoto e Realidade Aumentada.

A combinação de diferentes tipos de laboratórios *online* no ensino é uma tendência em estudos que exploram tais tecnologias (LASICA et al., 2016; RODRIGUEZ-GIL et al., 2017). Por anos, pesquisadores procuraram encontrar indícios que demonstrassem qual laboratório seria a melhor escolha educacional, ou se estas novas formas de laboratórios poderiam superar os laboratórios convencionais. O que se observou foram benefícios distintos, trazidos por cada tipo de laboratório, de modo que não é possível determinar qual recurso é o mais indicado para ensinar (LASICA et al., 2016; RODRIGUEZ-GIL et al., 2017; SANTOS, 2018). Na verdade, o que se tem é a descoberta de vantagens exclusivas proporcionadas por cada forma de experimentação, de modo que a combinação de tais recursos, explorando diferentes objetivos de aprendizagem, enriquece os processos de ensino e aprendizagem. Portanto, combiná-los a partir de estratégias pedagógicas consolidadas representa uma importante contribuição do estudo realizado, uma vez que o tema é pouco explorado na literatura.

Outra questão a destacar é a importância do desenvolvimento de estudos com foco no ensino básico. A maioria dos estudos sobre laboratórios *online*, especialmente laboratórios remotos e híbridos, são realizados no ensino superior – envolvendo, principalmente, cursos de engenharia (DOS SANTOS; FERNANDES; DA SILVA, 2017; NICOLETE et al., 2020; TULHA; DE CARVALHO; COLUCI, 2019). O ensino básico brasileiro ainda apresenta um ensino pautado em aulas excessivamente expositivas; muitas vezes, pela falta de laboratórios de Ciências. Apenas 12% das escolas de ensino básico brasileiras possuem laboratório de ciências – 22% das escolas privadas e 9% das escolas públicas (INEP/MEC, 2020). E ainda: muitas dessas escolas que contam com um laboratório, o possuem de forma precária, com poucos equipamentos. Portanto, soluções educacionais como as apresentadas no âmbito dessa tese podem contribuir para a superação de tal carência, permitindo a experimentação prática, tão importante para as áreas STEM.

Esta pesquisa de tese iniciou-se em 2017, com foco no ensino presencial, buscando implementar os laboratórios *online* de forma híbrida. Com a chegada da pandemia da Covid-19, período no qual o ensino remoto emergencial substituiu o ensino presencial tradicional, o projeto sofreu uma reestruturação, a fim de se adaptar a essa nova situação. Nesse contexto, o desenvolvimento dessa tese se mostrou atual e necessário, permitindo levar o ensino prático aos estudantes, mesmo que estes estivessem longe das escolas, explorando os processos de vivenciar, refletir, pensar e agir no ensino remoto emergencial de Física.

Entretanto, pesquisadores apontam para a necessidade de uso de laboratórios em uma perspectiva híbrida – presencial e *online*. Combinar o laboratório *hands-on* a outros modos de experimentação e aplicá-los de forma complementar pode resultar em melhores resultados de

aprendizagem (LASICA et al., 2016). Estudos demonstram que, quando os alunos trabalham inicialmente com laboratórios *online*, se mostram mais capazes para relacionar a teoria com a experimentação. E, ao manipularem os experimentos reais, os alunos trabalharam de forma consciente – e não por “tentativa-e-erro” (DORNELES, 2010).

Já o desenvolvimento de um Laboratório Remoto Aumentado surge da atual discussão dos benefícios dos laboratórios híbridos que, mais que utilizar diferentes tipos de laboratórios em sala de aula, pretendem unir aspectos relevantes de cada um desses (*hands-on*, virtual e remoto) em uma mesma experiência. Ao desenvolver um LRA, foi possível adquirir expertise quanto às possibilidades desse desenvolvimento, destacando tecnologias apropriadas e elaborando uma arquitetura para inclusão de RA em laboratórios remotos, trazendo um *background* valioso para a construção de novos LRA, especialmente a partir de laboratórios remotos desenvolvidos pelo Rexlab. O Rexlab, atualmente, conta com mais de 15 laboratórios remotos – os quais têm potencial para explorar novos recursos a partir da Realidade Aumentada.

5.1 Limitações e Trabalhos Futuros

O estudo apresentou limitações quanto ao tamanho das amostras e à quantidade de variáveis observadas – o que dificultou a produção de evidências claras que elucidem quais aspectos abordados levaram aos resultados identificados. Nesse sentido, a seguir, são descritas algumas limitações importantes do estudo:

- Tamanho das amostras, que, em alguns casos, limitou a realização de inferências estatísticas adequadas;
- A falta de uma análise qualitativa do desempenho conceitual dos estudantes, a fim de melhor discutir a relação entre as concepções científicas e alternativas apresentadas pelos estudantes após a intervenção e os ciclos e laboratórios utilizados;
- A participação voluntária, que pode representar um viés de seleção, uma vez que os indivíduos menos motivados podem não ter respondido aos instrumentos de coleta de dados.

Como trabalhos futuros, considerando a emergência do tema de pesquisa, busca-se trazer à tona possibilidades de expansão da pesquisa em termos de aumento do escopo e de aperfeiçoamento ou aprofundamento. Algumas possibilidades são listadas a seguir:

- Realização de pesquisa qualitativa a respeito do desempenho conceitual dos estudantes, explorando profundamente as possibilidades das estratégias desenvolvidas para a superação das concepções alternativas relacionadas ao estudo dos circuitos elétricos;
- Desenvolvimento de novos LRA, principalmente considerando os laboratórios remotos do Rexlab, bem como a elaboração de novos ciclos de aprendizagem experiencial para exploração de outros conceitos das áreas STEM;
- Aplicação da pesquisa no ensino presencial em uma perspectiva híbrida, utilizando os ciclos de aprendizagem com os laboratórios *online* na preparação para experimentação real em laboratórios convencionais;
- Aplicação da pesquisa em escolas públicas, explorando o ensino prático em escolas que não possuem laboratórios convencionais.

Os resultados positivos obtidos nesta pesquisa abrem a possibilidade para a exploração de diferentes laboratórios *online* para o ensino de conteúdos ligados às áreas STEM. As possibilidades de trabalhos futuros, assim como as limitações apresentadas, sinalizam para a relevância de pesquisas adicionais a serem desenvolvidas – cujos resultados poderão aperfeiçoar ainda mais as áreas de conhecimento relacionadas à presente tese.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULWAHED, M.; NAGY, Z. K. Applying Kolb's experiential learning cycle for laboratory education. **Journal of engineering education**, v. 98, n. 3, p. 283-294, 2009.

_____. The TriLab, a novel ICT based triple access mode laboratory education model. **Computers & Education**, v. 56, n. 1, p. 262-274, 2011.

ACOSTA, J. L. B. et al. Framework for designing motivational augmented reality applications in vocational education and training. **Australasian Journal of Educational Technology**, v. 35, n. 3, 2019.

AKÇAYIR, M.; AKÇAYIR, G. Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. **Educational research review**, v. 20, p. 1-11, 2017.

ALBU, M. M. et al. Embedding remote experimentation in power engineering education. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 19, n. 1, p. 139-143, 2004.

ALTMeyer, K. et al. The use of augmented reality to foster conceptual knowledge acquisition in STEM laboratory courses—Theoretical background and empirical results. **British Journal of Educational Technology**, 2020.

ALVES JUNIOR, J. V.; CARMO, P. T. E. S.; TRAVASSOS, L. C. P. Como o bom entendimento da relação entre motivação e aprendizagem pode ser positivo no processo ensino-aprendizagem <http://dx.doi.org/10.15601/1983-7631/rt.v2n3p54-60>. **Revista Tecer**, v. 2, n. 3, 2011.

ANDERMAN, E. M.; SINATRA, G. M.; GRAY, D. L. The challenges of teaching and learning about science in the twenty-first century: Exploring the abilities and constraints of adolescent learners. **Studies in Science Education**, v. 48, n. 1, p. 89-117, 2012.

ANDRADE, F. A. L. D. et al. Recorrência de concepções alternativas sobre corrente elétrica em circuitos simples. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, 2018.

ANDÚJAR, J. M.; MEJÍAS, A.; MARQUEZ, M. A. Augmented reality for the improvement of remote laboratories: An augmented remote laboratory. **IEEE Transactions on Education**, v. 54, n. 3, p. 492-500, 2011.

ANTONIO, C. P. **Mundos virtuais 3D integrados à experimentação remota**. 2016. 162 Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, Santa Catarina.

ANTONIO, C. P. et al. Using 3D Virtual Worlds Integrated to Remote Experimentation in Sciences Teaching. **Gamification-Based E-Learning Strategies for Computer Programming Education**, p. 195, 2016.

ARAÚJO, E. S. et al. O uso de simuladores virtuais educacionais e as possibilidades do PhET para a aprendizagem de Física no Ensino Fundamental. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 12, n. 3, p. 1-25, 2021.

ARICI, F. et al. Research trends in the use of augmented reality in science education: Content and bibliometric mapping analysis. **Computers & Education**, v. 142, p. 103647, 2019.

AZUMA, R. et al. **Recent advances in augmented reality**. NAVAL RESEARCH LAB WASHINGTON DC. 2001

AZUMA, R. T. A survey of augmented reality. **Presence: Teleoperators & Virtual Environments**, v. 6, n. 4, p. 355-385, 1997.

BANKY, G. P.; BLICBLAU, A. S. Mimicking of face-to-face experimental venue affordances in an on-line real-time supervised remote experimental learning context. **Global Journal of Engineering Education**, v. 21, n. 3, 2019.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: 2016.

BASTOS, A. M. Tecnologias digitais: uso do Physics Education Technology Project (PhET) no ensino de eletrodinâmica. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e205996846-e205996846, 2020.

BISHOP, Z. K. et al. Student Experiences of Practical Activities During the COVID-19 Pandemic. 2021 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2021. IEEE. p.619-623.

BOTTENTUIT JUNIOR, J. B.; COUTINHO, C. P. Projecto e desenvolvimento de um laboratório virtual na plataforma moodle. 2007.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular: educação é a base**. Brasília: Ministério da Educação 2018.

_____. **PARECER CNE/CP Nº: 5/2020 - Reorganização do Calendário Escolar e da possibilidade de cômputo de atividades não presenciais para fins de cumprimento da carga horária mínima anual, em razão da Pandemia da COVID-19**. Brasília. 2020

CABERO-ALMENARA, J.; BARROSO-OSUNA, J. The educational possibilities of Augmented Reality. 2016.

CAFÉ, L. D. J.; SELUCHINESK, R. D. R. MOTIVAÇÃO DOS ALUNOS DE 3º ANO DO ENSINO MÉDIO PARA PROSSEGUIREM SEUS ESTUDO FRENTE AS DIFICULDADES DA PANDEMIA COVID-19. **Humanidades & Inovação**, v. 7, n. 16, p. 198-212, 2020.

CAMPBELL, D. T.; STANLEY, J. C. Delineamentos experimentais e quase-experimentais de pesquisa. In: (Ed.). **Delineamentos experimentais e quase-experimentais de pesquisa**: USP/EPU, 1979.

CAPUTO, E. et al. Exploiting augmented reality and internet of things for gamma ray experiments in educational field. 2021 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2021. IEEE. p.1-6.

CARDOSO, A. et al. Online experimentation: Experiment@Portugal 2012. Proceedings of 2014 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation, REV

2014, 2014. **Conference Paper**. p.303-308.

CARLOS, L. M. et al. **DESENVOLVIMENTO E IMPLANTAÇÃO DE UM MODELO DE ACESSO E GERENCIAMENTO DE RECURSOS LABORATORIAIS REMOTOS**. 70ª Reunião Anual da SBPC. Maceió, Alagoas: UFAL 2018.

CASSINI, M.; PRATTICHIZO, D. E-Learning by Remote Laboratories: a new tool for controle education. The 6th IFAC Conference on Advances in Control Education, Finland, 2003.

CASTRO FILHO, J. A. D.; FREIRE, R. S. F.; MAIA, D. L. Estudo de Caso como método de pesquisa em Informática na Educação. In: PIMENTEL, M. e SANTOS, E. O. D. (Ed.). **Metodologia de Pesquisa Científica em Informática na Educação: Abordagem Qualitativa**: Sociedade Brasileira de Computação, v.3, 2018.

CHACZKO, Z. et al. Augmented Reality based monitoring of the remote-lab. ITHET 2014 - 13th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training, 2014. **Conference Paper**.

CHEN, C. H.; HO, C.-H.; LIN, J.-B. The development of an augmented reality game-based learning environment. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 174, p. 216-220, 2015.

CHIN, K.-Y.; LEE, K.-F.; CHEN, Y.-L. Effects of a Ubiquitous Guide-Learning System on Cultural Heritage Course Students' Performance and Motivation. **IEEE Transactions on Learning Technologies**, v. 13, n. 1, p. 52-62, 2019.

CHIODI, G.; SOUTADET, A. J.; BOSIO, M. A. Virtual Laboratory and Mobile Devices as a Support Tool for the Teaching-Learning Processes of Physics in Pandemic Times. 2021.

CHITUNGO, H. H. C. et al. Remote labs in high school: a case study in physics teaching. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 7, n. 7, 2020.

CIMA, R. C. et al. Redução do interesse pela Física na transição do ensino fundamental para o ensino médio: A perspectiva da supervisão escolar sobre o desempenho dos professores. **REEC. REVISTA ELECTRÓNICA DE ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS**, 2017.

COCHRANE. Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions. 2019. Disponível em: < <https://training.cochrane.org/handbook> >.

CORP, I. Released 2020. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 27.0. Armonk, NY, 2020.

CRISTIANO, M. A. D. S. Integração tecnológica na educação básica: perspectivas sobre os conhecimentos tecnológicos, pedagógicos e de conteúdo dos professores do sul de Santa Catarina. 2017.

DA SILVA, J. D. P. B.; LEITE FILHO, D. M. Softwares educacionais e suas aplicações em tempos de pandemia: estudo sobre possibilidades de aplicação. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 50866-50878, 2020.

DE ARAUJO, A. V. R. et al. Uma associação do método Peer Instruction com circuitos elétricos em contextos de aprendizagem ativa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39,

2016.

DE JONG, T.; SOTIRIOU, S.; GILLET, D. Innovations in STEM education: the Go-Lab federation of online labs. **Smart Learning Environments**, v. 1, n. 1, p. 1-16, 2014.

DESLAURIERS, L.; SCHELEW, E.; WIEMAN, C. Improved learning in a large-enrollment physics class. **science**, v. 332, n. 6031, p. 862-864, 2011.

DEWEY, J. The theory of inquiry. **New York: Holt, Rinehart & Wiston**, 1938.

DI SERIO, Á.; IBÁÑEZ, M. B.; KLOOS, C. D. Impact of an augmented reality system on students' motivation for a visual art course. **Computers & Education**, v. 68, p. 586-596, 2013.

DINIZ, E. D. N. Desafios do ensino e aprendizagem no curso de química da UFCG Campus de Cuité em tempos de pandemia do Covid-19. 2021.

DORNELES, P. F. T. **Integração entre atividades computacionais e experimentais como recurso instrucional no ensino de eletromagnetismo em física geral**. 2010. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

DORNELES, P. F. T.; VEIT, E. A.; MOREIRA, M. A. A study about the learning of students who worked with computational modeling and simulation in the study of simple electric circuits. **Revista electrónica de enseñanza de las ciencias. Ourense. Vol. 9, no. 3 (2010), p. 569-595**, 2010.

DOS SANTOS, A. C.; FERNANDES, F. S.; DA SILVA, J. B. O uso de laboratórios online no ensino de ciências: uma revisão sistemática da literatura. **ScientiaTec**, v. 4, n. 1, p. 143-159, 2017.

DUIT, R.; VON RHÖNECK, C. Learning and understanding key concepts of electricity. **Connecting research in physics education with teacher education**, v. 1, p. 1-6, 1997.

ENGELHARDT, P. V.; BEICHNER, R. J. Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. **American journal of physics**, v. 72, n. 1, p. 98-115, 2004.

ESQUEMBRE, F. Easy Java Simulations: A software tool to create scientific simulations in Java. **Computer physics communications**, v. 156, n. 2, p. 199-204, 2004.

FABREGAS, E.; DORMIDO-CANTO, S.; DORMIDO, S. Virtual and Remote Laboratory with the Ball and Plate System. **IFAC-PapersOnLine**, v. 50, n. 1, p. 9132-9137, 2017.

FEITOSA, M. C.; LAVOR, O. P. Ensino de circuitos elétricos com auxílio de um simulador do phet. **REAMEC-Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática**, v. 8, n. 1, p. 125-138, 2020.

FERRER-TORREGROSA, J. et al. Distance learning icts and flipped classroom in the anatomy learning: comparative study of the use of augmented reality, video and notes. **BMC medical education**, v. 16, n. 1, p. 230, 2016.

FRANK, J. A.; KAPILA, V. Mixed-reality learning environments: Integrating mobile interfaces with laboratory test-beds. **Computers & Education**, v. 110, p. 88-104, 2017.

FREIRE, P. **Education for critical consciousness**. Bloomsbury Publishing, 1973. ISBN 0826400078.

GARCIA-ZUBIA, J. et al. Empirical analysis of the use of the VISIR remote lab in teaching analog electronics. **IEEE Transactions on Education**, v. 60, n. 2, p. 149-156, 2016.

GARZÓN, J. et al. Promoting eco-agritourism using an augmented reality-based educational resource: a case study of aquaponics. **Interactive Learning Environments**, p. 1-15, 2020.

GIASIRANIS, S.; SOFOS, L. Flow experience and educational effectiveness of teaching informatics using AR. **Journal of Educational Technology & Society**, v. 20, n. 4, p. 78-88, 2017.

GO-LAB. Project - Global Online Science Labs for Inquiry Learning at School. 2018. Disponível em: < <http://go-lab-project.eu/tips-tricks> >.

GRANADO, E.; ABAD, J. Z.; PALOMEQUE, F. Q. An approach to develop a LabVIEW based augmented reality application for smartphones. IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference), 2016. **Conference Paper**. p.4970-4975.

GRODOTZKI, J.; ORTELT, T. R.; TEKKAYA, A. E. Remote and Virtual Labs for Engineering Education 4.0: Achievements of the ELLI project at the TU Dortmund University. **Procedia Manufacturing**, v. 26, p. 1349-1360, 2018.

GUENAGA, M. et al. **Serious games, remote laboratories and augmented reality to develop and assess programming skills**. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). 8264 LNCS: 29-36 p. 2014.

HAKE, R. R. Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. **American journal of Physics**, v. 66, n. 1, p. 64-74, 1998.

HEBEBICI, M. T.; BERTIZ, Y.; ALAN, S. Investigation of views of students and teachers on distance education practices during the Coronavirus (COVID-19) Pandemic. **International Journal of Technology in Education and Science (IJTES)**, v. 4, n. 4, p. 267-282, 2020.

HENKE, K. et al. Forms of Additions to Physical Models of Objects of Study in Remote Laboratories. CMIS, 2021. p.379-389.

HERPICH, F. Recursos educacionais em realidade aumentada para o desenvolvimento da habilidade de visualização espacial em física. 2019.

HERPICH, F.; GUARESE, R. L. M.; TAROUCO, L. M. R. A comparative analysis of augmented reality frameworks aimed at the development of educational applications. **Creative Education**, v. 8, n. 09, p. 1433, 2017.

HERPICH, F. et al. MODELO DE AVALIAÇÃO DE ABORDAGENS EDUCACIONAIS EM REALIDADE AUMENTADA MÓVEL. **RENOTE**, v. 17, n. 1, p. 355-364, 2019.

HODGES, C. et al. The difference between emergency remote teaching and online learning. **Educause Review**, v. 27, 2020.

HOVARDAS, T.; XENOFONTOS, N. A.; ZACHARIA, Z. C. Using Virtual Labs in an Inquiry Context: The Effect of a Hypothesis Formulation Tool and an Experiment Design Tool in Students' Learning. In: (Ed.). **Optimizing STEM Education With Advanced ICTs and Simulations**, 2017. p.58. ISBN 1522525297.

HUANG, W. et al. A preliminary validation of Attention, Relevance, Confidence and Satisfaction model - based Instructional Material Motivational Survey in a computer - based tutorial setting. **British Journal of Educational Technology**, v. 37, n. 2, p. 243-259, 2006.

HUSSAIN, N. H. et al. Student's Alternative Conception in Basic Electric Circuit. 2013. Research in Engineering Education Symposium, Kuala Lumpur.

IBÁÑEZ, M. et al. Support for Augmented Reality Simulation Systems: The Effects of Scaffolding on Learning Outcomes and Behavior Patterns. **IEEE Transactions on Learning Technologies**, v. 9, n. 1, p. 46-56, 2016.

IBÁÑEZ, M. B. et al. Impact of augmented reality technology on academic achievement and motivation of students from public and private Mexican schools. A case study in a middle-school geometry course. **Computers & Education**, v. 145, p. 103734, 2020.

IBGE, I. B. D. G. E. E. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD) - Educação 2019**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Brasil. 2020

INÁCIO, A. B. et al. Desempenho de estudantes de Ensino Médio em um teste sobre conhecimentos básicos de física e transformação de unidades. **Revista Educar Mais**, v. 4, n. 1, p. 4-21, 2020.

INEP/MEC. Censo Escolar Brasileiro 2020. Brasil, 2020. Disponível em: < <http://portal.inep.gov.br/basica-censo> >.

INSTITUTODATAFOLHA. **Educação não presencial na perspectiva dos estudantes e suas famílias - Onda 5 Novembro/20**. 2020

JOHNSON, L. et al. **NMC Horizon Report: 2016 Higher Education Edition**. Austin, Texas. 2016

JOO-NAGATA, J. et al. Augmented reality and pedestrian navigation through its implementation in m-learning and e-learning: Evaluation of an educational program in Chile. **Computers & Education**, v. 111, p. 1-17, 2017/08/01/ 2017.

JULIÀ, C.; ANTOLÍ, J. Ò. Impact of implementing a long-term STEM-based active learning course on students' motivation. **International Journal of Technology and Design Education**, v. 29, n. 2, p. 303-327, 2019.

KAPTAN, K.; TIMURLENK, O. Challenges for science education. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 51, p. 763-771, 2012.

KELLEMS, R. O. et al. Using Video-Based Instruction via Augmented Reality to Teach Mathematics to Middle School Students With Learning Disabilities. **Journal of Learning Disabilities**, p. 0022219420906452, 2020.

KELLER, J.; SUZUKI, K. Learner motivation and e-learning design: A multinationally validated process. **Journal of educational Media**, v. 29, n. 3, p. 229-239, 2004.

KELLER, J. M. **Motivational design for learning and performance: The ARCS model approach**. Springer Science & Business Media, 2009. ISBN 1441912509.

KHWANDA, M.; KRIEK, J. An evaluation of student's understanding of DC circuit concepts through students' written explanations. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020. IOP Publishing. p.012020.

KOLB, A.; KOLB, D. The Kolb learning style inventory-version 3.1 2005 technical specifications. **Boston, MA: Hay Resource Direct**, v. 200, n. 72, p. 166-171, 2005.

KOLB, A. Y.; KOLB, D. A. **The experiential educator: Principles and practices of experiential learning**. Kaunakakai, Hawaii: Experience based learning systems, 2017. ISBN 0998599905.

KOLB, D. A. **Experiential learning: Experience as the source of learning and development**. FT press, 2014. ISBN 0133892506.

KOLB, D. A.; BOYATZIS, R. E.; MAINEMELIS, C. *Experiential Learning Theory: Previous Research and New Directions in Perspectives on Thinking, Learning, and Cognitive Styles (Educational Psychology Series)*. 2001.

KOLB, D. A.; FRY, R. E. Towards an applied theory of experiential learning. In: COOPER, C. L. (Ed.). **Theories of group processes**. New York: John Wiley & Sons 1975.

KONAK, A.; CLARK, T. K.; NASEREDDIN, M. Using Kolb's Experiential Learning Cycle to improve student learning in virtual computer laboratories. **Computers & Education**, v. 72, p. 11-22, 2014.

LAINUFAR, M.; JOHAR, R. A need analysis for the development of augmented reality based-geometry teaching instruments in junior high schools. 2020.

LASICA, I. E. et al. Research challenges in future laboratory-based STEM education. **Bulletin of the Technical Committee on Learning Technology**, v. 18, n. 1, p. 2-5, 2016.

_____. Augmented reality in laboratory-based education: Could it change the way students decide about their future studies? , IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON, 2017. **Conference Paper**. p.1473-1476.

LASSOUED, Z.; ALHENDAWI, M.; BASHITIALSHAAER, R. An Exploratory Study of the Obstacles for Achieving Quality in Distance Learning during the COVID-19 Pandemic.

Education Sciences, v. 10, n. 9, p. 232, 2020.

LEWIN, K. Field theory in social science. 1951.

LI, H.; ÖCHSNER, A.; HALL, W. Application of experiential learning to improve student engagement and experience in a mechanical engineering course. **European Journal of Engineering Education**, v. 44, n. 3, p. 283-293, 2019.

LICCARDO, A. et al. An augmented reality approach to remote controlling measurement instruments for educational purposes during pandemic restrictions. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v. 70, p. 1-20, 2021.

LIMA, J. P. C. et al. **GT-MRE: Grupo de Trabalho em Experimentação Remota Móvel - RT2 - Avaliação dos resultados do protótipo**. Relatório Técnico 2 - Fase 1. Araranguá. 2015

LO, D. C.-T. et al. Work in progress: Enhance CS/CE student learning in computer architecture and organization through a remote instrument control lab with mixed reality. 2012 Frontiers in Education Conference Proceedings, 2012. IEEE. p.1-2.

LOBO, C. C. et al. Diferentes Integrações de Laboratórios Remotos em Cursos de Engenharia. **Pedagogia no Ensino Superior**, v. 19, 2011.

MA, J.; NICKERSON, J. V. Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review. **ACM Computing Surveys (CSUR)**, v. 38, n. 3, p. 7, 2006.

MAITI, A.; KIST, A.; SMITH, M. Key aspects of integrating augmented reality tools into peer-to-peer remote laboratory user interfaces. 2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), 2016a. 24-26 Feb. 2016. p.16-23.

_____. Key aspects of integrating augmented reality tools into peer-to-peer remote laboratory user interfaces. Proceedings of 2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation, REV 2016, 2016b. **Conference Paper**. p.16-23.

MAITI, A.; MAXWELL, A. D.; KIST, A. A. Using marker based augmented reality and natural user interface for interactive remote experiments. Proceedings of 2017 4th Experiment at International Conference: Online Experimentation, exp.at 2017, 2017. **Conference Paper**. p.159-164.

MARÍN, R. et al. A multimodal interface to control a robot arm via the web: A case study on remote programming. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, v. 52, n. 6, p. 1506-1520, 2005.

MÁRQUEZ, M. et al. Programming and testing a PLC to control a scalable industrial plant in remote way. Proceedings of 2017 4th Experiment at International Conference: Online Experimentation, exp.at 2017, 2017. **Conference Paper**. p.105-106.

MARTÍN-GUTIÉRREZ, J. et al. Augmented reality to promote collaborative and autonomous learning in higher education. **Computers in Human Behavior**, v. 51, p. 752-761, 2015.

MAYER, R. Multimedia learning: Are we asking the right questions? **Educational**

psychologist, v. 32, n. 1, p. 1-19, 1997.

MAYER, R.; MORENO, R. Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. **Educational psychologist**, v. 38, n. 1, p. 43-52, 2003.

MCDERMOTT, L. C.; SHAFFER, P. S. Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding. **American journal of physics**, v. 60, n. 11, p. 994-1003, 1992.

MEJÍAS, A.; ANDÚJAR, J. M. A pilot study of the effectiveness of augmented reality to enhance the use of remote labs in electrical engineering education. **Journal of science education and technology**, v. 21, n. 5, p. 540-557, 2012.

MEJÍAS, A.; ANDÚJAR, J. M. Interaction of real robots with virtual scenarios through augmented reality: Application to robotics teaching/learning by means of remote labs. **International Journal of Engineering Education**, v. 29, n. 3, p. 788-798, 2013.

MEJÍAS, A. et al. A complete solution for developing remote labs. IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline), 2013. **Conference Paper PART 1**. p.96-101.

MILGRAM, P.; KISHINO, F. A taxonomy of mixed reality visual displays. **IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems**, v. 77, n. 12, p. 1321-1329, 1994.

MORAN, J. M.; MASETTO, M.; BEHRENS, M. A. **Novas tecnologias e mediação pedagógica**. 17. Campinas: Papirus Editora, 2013. ISBN 8530805941.

MOREIRA, J. A.; HENRIQUES, S.; BARROS, D. M. V. Transitando de um ensino remoto emergencial para uma educação digital em rede, em tempos de pandemia. **Dialogia**, p. 351-364, 2020.

MOREIRA, M. A. Uma análise crítica do ensino de Física. **Estudos Avançados**, v. 32, n. 94, p. 73-80, 2018.

NAVARRO, E. A.; ARGUEDAS-MATARRITA, C. El trabajo experimental en la enseñanza de la Física en tiempos de pandemia mediante el uso de la aplicación II Ley de Newton en la UNED de Costa Rica. **Innovaciones Educativas**, v. 22, n. Especial, p. 103-114, 2020.

NICOLETE, P. C. **Integração de tecnologia na educação: Grupo de Trabalho em Experimentação Remota Móvel (GT-MRE) um estudo de caso**. 2016. 219 Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, Santa Catarina.

NICOLETE, P. C. et al. Realidade Aumentada para aprimoramento de Laboratórios Remotos uma revisão sistemática da literatura. **RENOTE**, v. 18, n. 2, p. 439-449, 2020.

NIEMI, H. M.; KOUSA, P. A case study of students' and teachers' perceptions in a Finnish high school during the COVID pandemic. **International journal of technology in education and science**, 2020.

OCDE. **Programme for international student assessment (PISA) - Results from PISA 2018**.

2019

ODEH, S.; SHANAB, S. A.; ANABTAWI, M. Augmented Reality Internet Labs versus its Traditional and Virtual Equivalence. **International Journal of Emerging Technologies in Learning**, v. 10, n. 3, 2015.

ODEH, S. et al. Remote augmented reality engineering labs. IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON, 2012. **Conference Paper**.

_____. A remote engineering lab based on augmented reality for teaching electronics. **International Journal of Online Engineering**, v. 9, n. SPL.ISSUE5, p. 61-67, 2013.

ONYANGO, G.; GITONGA, R.; RUGAR, T. Technology Integrated Lesson Plan Based on Experiential Learning. Proceedings of the 2017 International Conference on Education and E-Learning, 2017. ACM. p.34-40.

ORTH, A. C. A importância das aulas experimentais na construção e interpretação de conceitos físicos. **ÁGORA Revista Eletrônica**, n. 23, 2016.

PIAGET, J. **Genetic epistemology**. New York, NY: Columbia University Press, 1970.

_____. **A tomada de consciência**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1978.

PNE/MEC. **Conhecendo as 20 Metas do Plano Nacional de Educação**. Brasília. 2014

PRIMA, E.; PUTRI, A. R.; RUSTAMAN, N. Learning Solar System Using PhET Simulation to Improve Students' Understanding and Motivation. **Journal of Science Learning**, v. 1, n. 2, p. 60-70, 2018.

RADHAMANI, R. et al. What virtual laboratory usage tells us about laboratory skill education pre-and post-COVID-19: Focus on usage, behavior, intention and adoption. **Education and Information Technologies**, p. 1-19, 2021.

RAMÍREZ-HERNÁNDEZ, D.; MONTESINOS-CASTELLANOS, A. Improving understanding and motivation in learning transient state by using a remote lab. **The International journal of engineering education**, v. 33, n. 2, p. 847-854, 2017.

RATCLIFFE, J. et al. Extended Reality (XR) remote research: a survey of drawbacks and opportunities. Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2021. p.1-13.

REBELO, W. et al. A qualidade e o uso do livro didático por professores de Física do Ensino Médio. **Latin American Journal of Science Education**, v. 1, n. 22029, p. 1-8, 2014.

REZENDE, C. D. S. Modelo de Avaliação de qualidade de Software Educacional para o Ensino de Ciências. 2013.

RODRIGUES, J. et al. Adding augmented reality to laboratory experimentation. Proceedings of 2017 4th Experiment at International Conference: Online Experimentation, exp.at 2017, 2017. **Conference Paper**. p.135-136.

RODRIGUEZ-GIL, L. et al. Towards new multiplatform hybrid online laboratory models. **IEEE Transactions on Learning Technologies**, v. 10, n. 3, p. 318-330, 2017.

SADERA, J. R. N.; TORRES, R. Y. S.; ROGAYAN JR, D. V. Challenges Encountered by Junior High School Students in Learning Science: Basis for Action Plan. **Universal Journal of Educational Research**, v. 8, n. 12A, p. 7405-7414, 2020.

SÁEZ-LÓPEZ, J. M. et al. Augmented Reality in Higher Education: An Evaluation Program in Initial Teacher Training. **Education Sciences**, v. 10, n. 2, p. 26, 2020.

SALZMANN, C.; GILLET, D.; HUGUENIN, P. **Remote experimentation: Improving user perception using augmented reality** 2000.

SANTANA, B. L. Uma abordagem de ensino-aprendizagem de programação na educação superior. 2018.

SANTOS, A. C. D. Integração de tecnologia na educação básica: um estudo de caso nas aulas de biologia utilizando laboratórios on-line. 2018.

SCHLEICHER, A. **The Impact of Covid-19 on education insights From Education At a Glance 2020**: OECD. Retrieved from <https://bit.ly/3jOrnuQ> 2020.

SHANAB, S. A. et al. Augmented reality internet labs versus hands-on and virtual labs: A comparative study. Interactive Mobile and Computer Aided Learning (IMCL), 2012 International Conference on, 2012. IEEE. p.17-21.

SILVA, J. B.; ROCHADEL, W.; MARCELINO, R. Utilização de NTIC's Aplicadas a Dispositivos Móveis. **IEEE-RITA**, v. 7, n. 3, p. 149-154, 2012.

SILVEIRA, F. L. D.; MOREIRA, M. A.; AXT, R. Validação de um teste para verificar se o aluno possui concepções científicas sobre corrente elétrica em circuitos simples. **Ciência e Cultura**, v. 41, n. 11, p. 1129-1133, 1989.

SIMÃO, J. P. S. et al. A remote lab for teaching mechanics. 2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), 2016. 24-26 Feb. 2016. p.176-182.

SMITH, M. et al. Applying Augmented Reality to New or Existing Remote Access Laboratories. 2019 5th Experiment International Conference (exp. at'19), 2019. IEEE. p.6-11.

SMITH, M. et al. Augmented and mixed reality features and tools for remote laboratory experiment. **International Journal of Online Engineering**, v. 12, n. 7, p. 45-52, 2016.

SMITH, M. et al. Augmented and mixed reality features and tools for remote laboratory experiments. **International Journal of Online Engineering**, v. 12, n. 7, p. 45-52, 2016.

SUN, H. et al. OptoBridge: Assisting skill acquisition in the remote experimental collaboration. Proceedings of the 28th Australian Computer-Human Interaction Conference, OzCHI 2016, 2016. **Conference Paper**. p.195-199.

TAWFIK, M. et al. Virtual instrument systems in reality (VISIR) for remote wiring and measurement of electronic circuits on breadboard. **Learning Technologies, IEEE Transactions on**, v. 6, n. 1, p. 60-72, 2013.

TEIXEIRA, A. C.; BRANDÃO, E. J. R. Software educacional: o difícil começo. **RENOTE**, v. 1, n. 1, 2003.

THEES, M. et al. Effects of augmented reality on learning and cognitive load in university physics laboratory courses. **Computers in Human Behavior**, p. 106316, 2020.

TSAI, C. H. et al. Current as the key concept of Taiwanese students' understandings of electric circuits. **International Journal of Science Education**, v. 29, n. 4, p. 483-496, 2007.

TSENG, K.-H. et al. Attitudes towards science, technology, engineering and mathematics (STEM) in a project-based learning (PjBL) environment. **International Journal of Technology and Design Education**, v. 23, n. 1, p. 87-102, 2013.

TULHA, C. N.; DE CARVALHO, M. A. G.; COLUCI, V. R. Uso de Laboratórios Remotos no Brasil: uma revisão sistemática. **Informática na educação: teoria & prática**, v. 22, n. 2, 2019.

TUNUR, T. et al. XR-Immersive Labs Improve Student Motivation to Learn Kinesiology. **Frontiers in Virtual Reality**, v. 2, p. 15, 2021.

UN. **Policy Brief: Education during COVID-19 and beyond**. . August 2020

UNICEF, F. D. N. U. P. A. I. **Enfrentamento da cultura do fracasso escolar: Reprovação, abandono e distorção idade-série**. 2021

VALENTE, J. A.; DE ALMEIDA, M. E. B.; GERALDINI, A. F. S. Metodologias ativas: das concepções às práticas em distintos níveis de ensino. **Revista Diálogo Educacional**, v. 17, n. 52, p. 455-478, 2017.

VARGAS, H. et al. Using augmented reality in remote laboratories. **International Journal of Computers, Communications and Control**, v. 8, n. 4, p. 622-634, 2013.

VIEGAS, C. et al. Impact of a remote lab on teaching practices and student learning. **Computers & Education**, v. 126, p. 201-216, 2018.

WANG, J. et al. Study problems and depressive symptoms in adolescents during the COVID-19 outbreak: poor parent-child relationship as a vulnerability. **Globalization and Health**, v. 17, n. 1, p. 40, 2021/04/06 2021.

WÄSTBERG, B. S. et al. Design considerations for virtual laboratories: A comparative study of two virtual laboratories for learning about gas solubility and colour appearance. **Education and Information Technologies**, v. 24, n. 3, p. 2059-2080, 2019.

WU, H.-K. et al. Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. **Computers & Education**, v. 62, p. 41-49, 2013.

YERDEN, A.; AKKUŞ, N. Virtual Reality Remote Access Laboratory for Teaching

Programmable Logic Controller Topics. **International Journal Of Engineering Education**, v. 36, n. 5, 2020.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**: Porto Alegre: Bookman 2005.

ZAINAL, N. F. A. et al. Primary and Secondary School Students Perspective on Kolb-based STEM Module and Robotic Prototype. **International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology**, v. 8, n. 4-2, p. 1394-1401, 2018.

ZANDAVI, S. M.; CHUNG, V. Augmented Reality for Remote Laboratory Improving Educational Learning: Using Elevated Particle Swarm Optimization in Object Tracking Scheme. 2018 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), 2018. IEEE. p.1-6.

ZARZUELA, M. M. et al. Mobile serious game using augmented reality for supporting children's learning about animals. **Procedia computer science**, v. 25, p. 375-381, 2013.

ZUBÍA, J., G et al. Empirical Analysis of the Use of the VISIR Remote Lab in Teaching Analog Electronics. **IEEE Transactions on Education**, v. 60, n. 2, p. 149-156, 2017.

ZUBÍA, J. G.; ALVES, G. R. **Using Remote Labs in Education: Two Little Ducks in Remote Experimentation**. Bilbao: Universidad de Deusto, 2011. ISBN 8498303982.

ZUTIN, D. G. et al. Lab2go—A repository to locate educational online laboratories. IEEE Educon 2010 Conference, 2010. IEEE. p.1741-1746.

APÊNDICE A - Publicações

Algumas produções científicas de relevância elaboradas durante o doutorado do autor desta tese (autoria e coautoria):

Nicolete, Priscila; Herrmann, Rúbia Fabiana Dallabrida; Herpich, Fabrício; Oliveira Júnior, Eduardo Tocchetto de, Tarouco, Liane Margarida Rockenbach. A motivação de estudantes ao utilizar laboratórios *online* para aprendizagem experiencial de circuitos elétricos durante a pandemia do Covid-19. RENOTE. Revista Novas Tecnologias na Educação. 2021.

Nicolete, Priscila; Silva, Marta Adriana; Margarida Rockenbach Tarouco, Liane; Santos, Aline Coelho. Informática na educação básica pública brasileira análise sobre sua importância, tendências e desafios. ETD: EDUCAÇÃO TEMÁTICA DIGITAL, v. 23, p. 794-815, 2021.

Nicolete, Priscila Cadorin; Herpich, Fabrício; Oliveira Júnior, Eduardo Tocchetto; Tarouco, Liane Margarida Rockenbach; Silva, Juarez Bento da. Analysis of student motivation in the use of a Physics Augmented Remote Lab during the Covid-19 pandemic. In: 2021 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON). IEEE, 2021. p. 1040-1047.

Nicolete, Priscila Cadorin; Santos, Aline Coelho; Margarida Rockenbach Tarouco, Liane; Silva, Marta Ariana. Teoria dos Campos Conceituais como instrumento para o planejamento e construção de recursos tecnológicos para o ensino de Ciências. Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação, 2021.

Nicolete, Priscila Cadorin; Herpich, Fabrício; Silva, Marta Adriana da; Tarouco, Liane Margarida Rockenbach. Realidade Aumentada para aprimoramento de Laboratórios Remotos: uma revisão sistemática da literatura. RENOTE. REVISTA NOVAS TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO, v. 18, p. 439-449, 2020.

Nicolete, Priscila Cadorin; Nichele, Aline Grunewald, Herpich, Fabrício, Silva, Marta Adriana, Tarouco, Liane Margarida Rockenbach, Silva, Juarez Bento da. Avaliação Da Usabilidade Pedagógica de um Laboratório Remoto Aumentado para o ensino de Circuitos Elétricos. Anais da Semana de Ciência e Tecnologia. UNESC, Criciúma. 2020.

Nicolete, Priscila Cadorin; Tarouco, Liane Margarida Rockenbach ; Oliveira Junior, Eduardo; Vila, Eduardo De; Silva, Juarez Bento; Silva, Marta Adriana da ; Santos, Aline Coelho Dos . Laboratório Remoto Aumentado: O Uso De Realidade Aumentada Para Aprimorar Laboratórios Remotos. A Produção do Conhecimento na Engenharia da Computação 2. 2ed.: Atena Editora, 2020, v. , p. 74-86.

Nicolete, Priscila; Oliveira Junior, Eduardo; Cristiano, Marta; Tarouco, Liane Margarida Rockenbach; Vila, Eduardo de; Silva, Juarez Bento. Estudo exploratório sobre Realidade Aumentada e Laboratório Remoto no ensino de Física. RENOTE. Revista Novas Tecnologias na Educação. 2019.

Herpich, Fabrício; Nunes, Felipe Becker; Petri, Giani; Nicolete, Priscila; Tarouco, Liane Margarida Rockenbach. Modelo de Avaliação de Abordagens Educacionais em Realidade Aumentada Móvel. RENOTE. Revista Novas Tecnologias na Educação, v. 17, p. 355-364,

2019.

Ferreira, Valter; Nicolete, Priscila Cadorin; Tarouco, Liane. Epistemologia Genética em um Experimento Virtual Imersivo 3D de Magnetismo. *RENOTE. Revista Novas Tecnologias na Educação*, v. 16, p. 1, 2018.

Nicolete, Priscila Cadorin; Tarouco, Liane. O uso de Laboratório Remoto e Realidade Aumentada para apoiar a aprendizagem experiencial de Física. In: VIII Congresso Brasileiro de Informática na Educação, 2019, Brasília. Anais dos Workshops do VIII Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE 2019), 2019. p. 1497.

Nicolete, Priscila Cadorin; Oliveira Júnior, Eduardo Tocchetto De; Vila, Eduardo de Tarouco, Liane Margarida Rockenbach; Silva, Juarez Bento da. Realidade Aumentada e Laboratório Remoto como ferramentas de apoio a aprendizagem no ensino superior. In: Conferencia TICAL2019 Comunidad y Tecnología y 3º Encuentro Latinoamericano de e-Ciencia, 2019, Cancún-México. (Artigo aceito e apresentado para publicação).

Nicolete, Priscila; Oliveira Junior, Eduardo; Tarouco, Liane Margarida Rockenbach; Vila, Eduardo de; Cristiano, Marta; Santos, Aline Coelho Dos; Silva, Juarez Bento. Laboratórios Remotos Aumentados para o ensino de Circuitos Elétricos. In: XXV Workshop de Informática na Escola, 2019, Brasília. Anais do XXV Workshop de Informática na Escola (WIE 2019), 2019. p. 1104.

Nicolete, Priscila; Tarouco, Liane Margarida Rockenbach; Santos, Aline Coelho Dos. Mobile Learning: Explorando as possibilidades do App Inventor para a criação de objeto educacional móvel. In: XXIX Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (Brazilian Symposium on Computers in Education), 2018, Fortaleza, 2018. v. 29. p. 1801-1805.

Souza, Michele; Behar, Patrícia; Kuyven, Neiva; Nicolete, Priscila. Construção de Objetos de Aprendizagem para o Ensino de Química. *Química Nova na Escola*, p. 133-138, 2019.

Pigatto, Leonardo de Souza, Nunes, Becker Felipe; Nicolete, Priscila Cadorin. Proposta De Integração da Iot á Sala de Aula com gerenciamento por Fog. *International Journal of Knowledge Engineering and Management*. 2019.

APÊNDICE B – Termo de consentimento livre e esclarecido

Pelo presente, convido-o para participar da pesquisa intitulada: “O USO DE LABORATÓRIO REMOTO, VIRTUAL E REMOTO AUMENTADO PARA APOIAR A APRENDIZAGEM EXPERIENCIAL DE CIRCUITOS ELÉTRICOS”. Este projeto faz parte da Tese de Doutorado desenvolvida no programa de Pós-Graduação em Informática na Educação (PPGIE) do Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação (CINTED) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

A pesquisa tem como objetivo “investigar os supostos benefícios que tecnologias educacionais de realidade aumentada e laboratório remoto podem causar no processo de desenvolvimento cognitivo sobre conteúdos relacionados a área de eletricidade, sendo analisado o desempenho de cada estudante para a aplicação de possíveis melhorias nos processos de ensino e aprendizagem”. Ela será aplicada no segundo semestre do ano de 2020 com os alunos da Turma 231, na disciplina de Física oferecido pelo Centro de Educação Básica Francisco de Assis – EFA – e ministrada pela professora Rúbia Fabiana Dallabrida Herrmann.

Algumas dessas ações poderão vir a ser fotografadas para possíveis visualizações futuras e acervo documental. Ressalta-se que a identidade dos participantes nas imagens será mantida em sigilo.

Todos os instrumentos a serem aplicados serão mantidos em sigilo, servindo apenas para os fins da pesquisa, não se revelando os nomes dos participantes. As aulas ocorrerão normalmente para todos alunos, se alterando somente a forma de interação com o conteúdo, sendo promovida atividades extras e de caráter lúdico pela professora, em que os alunos irão utilizar ferramentas educacionais diversificadas.

A sua participação não oferece risco algum. Caso seja verificado algum constrangimento durante os encontros, o pesquisador irá intervir, direcionando o assunto tratado. É-lhe garantido, também:

- Receber resposta a qualquer pergunta, ou esclarecimento a qualquer dúvida acerca dos procedimentos, riscos, benefícios e outros assuntos relacionados com a pesquisa;
- Poder retirar seu consentimento a qualquer momento, deixando de participar do estudo, sem que isso traga qualquer tipo de prejuízo;
- Que você não será identificado quando da divulgação dos resultados e que todas as informações obtidas serão utilizadas apenas para fins científicos vinculados à pesquisa;
- Que, se existirem gastos adicionais, estes serão absorvidos pelo orçamento da pesquisa.

Este documento deverá ser assinado em duas vias, sendo que uma delas será retida pelo sujeito da pesquisa e a outra pelo pesquisador. O responsável pela pesquisa é a aluna de doutorado Priscila Cadorin Nicolete, seu e-mail é priscilanicolete@hotmail.com.

Pelo presente termo de Consentimento Livre e Esclarecido, declaro que autorizo a participação de meu responsabilizado nesta pesquisa, pois fui devidamente informado, de forma clara e detalhada, livre de qualquer constrangimento e coerção, dos objetivos, da justificativa, dos instrumentos de coletas de informação que serão utilizados, dos riscos e benefícios, conforme já citados neste termo.

Data:

Nome do aluno:

Nome do responsável: Data de Nascimento:

E-mail:

Assinatura do responsável:

Pesquisador: Priscila Cadorin Nicolete Assinatura:

ANEXO A - AUTORIZAÇÃO PARA UTILIZAÇÃO DO KLSI 3.1



CONDITIONAL USE AGREEMENT

For good and valuable consideration, the receipt and legal sufficiency of which are hereby acknowledged, I hereby agree that the permission granted to me by the Korn Ferry ("KF") to receive and utilize the Learning Style Inventory ("LSI") is subject to the following conditions, all of which I hereby accept and acknowledge:

1. I will utilize the LSI for research purposes only and not for commercial gain.
2. I will pay to KF a fee per launch of \$3 for LSI3.1 online or \$5 for LSI4 online. KF will invoice monthly, and I agree to pay such invoices within thirty (30) days of the date of invoice. ****Paper-based assessments used for research purposes only are provided free of charge.**
3. The LSI, and all derivatives thereof, is and shall remain the exclusive property of KF; KF shall own all right, title and interest, including, without limitation, the copyright, in and to the LSI.
4. I will not modify or create works derivative of the LSI or permit others to do so. Furthermore, I understand that I am not permitted to reproduce the LSI for inclusion in my thesis/research publication.
5. I will provide KF with a copy of any research findings arising out of my use of the LSI and will cite KF in any of my publications relating thereto.
6. To translate the LSI, I need specific permission from KF. If permission is granted, I will use the translation for my research only, and I am not permitted to include this translation in my thesis/research publication.
7. KF will have no obligation to provide me with any scoring services for my use of the LSI other than the Algorithm used to score results.
8. KF will not be deemed to have made any representation or warranty, express or implied, in connection with the LSI, including, but not limited to, the implied warranties of merchantability and fitness for a particular purpose.
9. My rights under this Agreement are non-transferable and non-exclusive and will be limited to a period of two (2) years from the date of this Agreement.
10. KF may immediately terminate this Agreement by giving written notice to me in the event I breach any of this Agreement's terms or conditions.



KORN FERRY®



11. This Agreement will be construed in accordance with the laws of Pennsylvania without recourse to its conflict of laws principles.
12. This Agreement may not be assigned by me without the prior written consent of KF.
13. Failure by KF to enforce any provisions of this Agreement will not be deemed a waiver of such provision, or any subsequent violation of the Agreement by me.
14. This is the entire agreement with KF pertaining to my receipt and use of the LSI, and only a written amendment signed by an authorized representative of KF can modify this Agreement.



GSCcontracts <GSCcontracts@kornferry.com>

para GSCcontracts, mim, licensing ▾

🌐 inglês ▾ > português ▾ [Traduzir mensagem](#)

Hi Priscila – Your study has been approved and we will ship out the 150 paper assessments within the next couple business days.

Regards,
Jackie

Jackie Pivec

Licensing Account Manager

Korn Ferry

1+(612) 373.3593

ANEXO B - INSTRUCTIONAL MATERIALS MOTIVATION SURVEY (IMMS)

Pense em cada afirmação em relação aos materiais educacionais (laboratório remoto aumentado, realidade aumentada e materiais disponibilizados pelo professor) que você estudou durante o semestre e indique quão verdadeira a afirmação é. Dê a resposta que realmente se aplica a você, e não o que você gostaria que fosse verdade ou o que você acha que os outros gostariam de ouvir.

Avalie cada afirmação por si só, não seja influenciado por suas respostas às outras afirmações.

Use os seguintes valores para indicar sua resposta para cada item.

Escala de resposta:

- 1 = discordo totalmente
- 2 = discordo parcialmente
- 3 = Nem concordo, nem discordo
- 4 = concordo parcialmente
- 5 = concordo totalmente

Desde já agradeço sua participação.

Afirmações	Assinale a opção que melhor representa a sua avaliação				
	1	2	3	4	5
1. Quando eu olhei pela primeira vez para o material didático (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada) eu tive a impressão de que ele seria fácil para mim.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Havia algo interessante no início do material educacional (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada) que chamou minha atenção.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. O material didático (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada) foi mais difícil de entender do que eu gostaria que fosse.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Depois de ler (ou receber) as informações introdutórias eu me senti confiante de que estava apto a aprender a partir do material didático (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Completar os exercícios do material educacional me deu um sentimento de satisfação e realização	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Está claro para mim como o conteúdo do material educacional (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada) está relacionado a coisas que eu já sei/conheço	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Os materiais didáticos têm muita informação que foi difícil de captar e se lembrar dos pontos importantes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. O material educacional (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada) é atraente *	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Havia exemplos que me mostraram como o material educacional pode ser importante para as pessoas que estão aprendendo sobre o Eletricidade.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Completar o material educacional (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada) com sucesso foi importante pra mim.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. A qualidade da escrita dos materiais didáticos ajudou a manter minha atenção	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. O material educacional (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada) é tão abstrato que foi difícil manter minha atenção nele.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Enquanto trabalhava com o material educacional (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada) eu estava confiante de que poderia aprender o conteúdo.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

14. Eu gostei tanto do material educacional (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada) que eu gostaria de saber mais sobre o assunto.	<input type="checkbox"/>				
15. O design do material educacional (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada) parece seco e pouco atraente	<input type="checkbox"/>				
16. O conteúdo do material educacional (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada) é relevante para os meus interesses.	<input type="checkbox"/>				
17. A forma como a informação do material educacional é organizada ajudou a manter minha atenção	<input type="checkbox"/>				
18. Há explicações ou exemplos de como as pessoas utilizam o conhecimento no material educacional (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada).	<input type="checkbox"/>				
19. Os exercícios do material educacional (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada) eram muito difíceis.	<input type="checkbox"/>				
20. O material educacional (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada) tem coisas que me interessam.	<input type="checkbox"/>				
21. Eu realmente gostei de estudar o material educacional (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada).	<input type="checkbox"/>				
22. A quantidade de repetições no material educacional (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada) me levou a ficar entediado em algumas vezes.	<input type="checkbox"/>				
23. O conteúdo e o estilo de escrita no material educacional (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada) transmitem a impressão de que vale a pena conhecer seu conteúdo.	<input type="checkbox"/>				
24. Eu aprendi algumas coisas que foram surpreendentes ou inesperadas.	<input type="checkbox"/>				
25. Depois de trabalhar no material educacional por um tempo eu estava confiante de que eu seria capaz de passar por um teste sobre o Circuitos elétricos.	<input type="checkbox"/>				
26. O material educacional (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada) não foi relevante para minhas necessidades porque eu já sabia a maior parte dele.	<input type="checkbox"/>				
27. O trabalho com feedback após os exercícios ou outros comentários no material educacional me ajudou-me a sentir recompensado pelo meu esforço.	<input type="checkbox"/>				
28. A variedade das passagens escritas, exercícios, ilustrações etc., ajudaram a manter minha atenção no material educacional.	<input type="checkbox"/>				
29. O estilo de apresentação é chato.	<input type="checkbox"/>				
30. Eu poderia relacionar o conteúdo do material educacional (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada) a coisas que eu tenho visto, feito ou pensado a respeito em minha vida	<input type="checkbox"/>				
31. Há tantas palavras em cada janela no material (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada) que é irritante.	<input type="checkbox"/>				
32. Eu me senti bem em finalizar as aulas com o material educacional disponibilizado (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada).	<input type="checkbox"/>				
33. O conteúdo do material educacional (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada) é útil para mim.	<input type="checkbox"/>				
34. Eu não consegui entender um pouco do material educacional (materiais disponibilizados pelo professor, laboratórios online, realidade aumentada).	<input type="checkbox"/>				
35. A boa organização do conteúdo me ajudou a ter certeza de que eu aprenderia este material.	<input type="checkbox"/>				
36. Foi um prazer trabalhar em um material tão bem concebido/desenhado.	<input type="checkbox"/>				