



## iSEE: UMA PROPOSTA PARA APOIAR A EDUCAÇÃO DE ENGENHARIA DE SOFTWARE POR MEIO DA APRENDIZAGEM IMERSIVA

Filipe Arantes Fernandes

Exame de Qualificação apresentado ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas de Computação, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Sistemas e Computação.

Orientadora: Cláudia Maria Lima Werner

Rio de Janeiro

Março de 2020

Resumo do Exame de Qualificação apresentado à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

iSEE: UMA PROPOSTA PARA APOIAR A EDUCAÇÃO DE ENGENHARIA DE SOFTWARE POR MEIO DA APRENDIZAGEM IMERSIVA

Filipe Arantes Fernandes

Março/2020

Orientadores: Cláudia Maria Lima Werner

Programa: Engenharia de Sistemas e Computação

Pesquisadores e educadores vêm dedicando esforços para desenvolver e aplicar novos métodos de ensino para apoiar o extenso currículo e melhorar a experiência de Engenharia de Software (ES). Paralelamente aos desafios da Educação de Engenharia de Software (EES), a inovação no ensino superior tem crescido e avançado com o uso de tecnologias imersivas para melhorar os resultados de aprendizagem. Contudo, não há evidências na literatura técnica com relação ao ganho de aprendizagem de ES por meio de experiências imersivas. Neste sentido, esta proposta de tese tem como principal objetivo estabelecer um mecanismo que auxilie na melhoria dos resultados de aprendizagem de ES por meio de experiências imersivas. A fim de alcançar este objetivo, a abordagem *Immersive Software Engineering Education* (iSEE) é proposta com o intuito de auxiliar tanto no desenvolvimento de aplicações educacionais imersivas de ES quanto prover uma plataforma que reúna estas aplicações e ajude a fomentar uma comunidade de EES baseada em experiências imersivas. A fim de validar parte da proposta de tese, foi realizada uma avaliação preliminar de uma aplicação desenvolvida baseada na abordagem. Os resultados indicaram que a experiência imersiva contribui para o aprendizado, bem como na evolução da abordagem.

## Sumário

<b>Capítulo 1 – Introdução .....</b>	<b>10</b>
1.1. Preâmbulo.....	10
1.2. Motivação.....	11
1.3. Problema e Questão de Pesquisa .....	12
1.4. Hipóteses de Pesquisa.....	13
1.5. Objetivos.....	15
1.6. Organização do Texto.....	16
<b>Capítulo 2 – Educação de Engenharia de Software .....</b>	<b>17</b>
2.1. Introdução.....	17
2.2. Aprendizagem Baseada em Problemas.....	19
2.3. Aprendizagem Baseada em Projetos .....	21
2.4. Aprendizagem Baseada em Jogos .....	23
2.5. Ambientes Virtuais de Aprendizagem 3D.....	25
2.6. Considerações Finais .....	28
<b>Capítulo 3 – Revisão Rápida sobre Educação Imersiva .....</b>	<b>32</b>
3.1. Introdução.....	32
3.2. Contexto .....	33
3.3. Objetivo e Questões de Pesquisa.....	34
3.4. Estratégia de Pesquisa .....	35
3.4.1. Fontes de Busca .....	35
3.4.2. Artigos de Controle .....	36
3.4.3. <i>String</i> de Busca.....	36
3.4.4. Procedimento de Seleção.....	37
3.4.5. Critérios de Inclusão.....	38
3.4.6. Critérios de Exclusão.....	38
3.4.7. Procedimento de Extração .....	38
3.4.8. Procedimento de Síntese.....	39
3.5. Execução da Revisão .....	39
3.5.1. Resumo dos dados de Execução.....	40
3.5.2. Conjunto final de artigos .....	40
3.6. Análise e Resultados.....	40

3.6.1. QP1: Quando e onde têm sido publicados os estudos primários? .....	41
3.6.2. QP2: Quais são os tipos de contribuições dos estudos primários? .....	46
3.6.3. QP3: Quais são as áreas de contribuição dos estudos primários? .....	48
3.6.4. QP4: Quais são as teorias ou abordagens pedagógicas que fundamentam os estudos primários? .....	51
3.6.5. QP5: Quais são os dispositivos de interação humano-computador utilizados nos estudos primários? .....	52
3.6.6. QP6: Quais os indicadores adotados para a coleta e análise dos dados?.....	53
3.7. Considerações Finais .....	55
<b>Capítulo 4 – Frameworks em Educação Imersiva .....</b>	<b>58</b>
4.1. Introdução .....	58
4.2. Análise dos <i>Frameworks</i> .....	59
4.3. <i>Guidelines</i> do <i>Framework</i> iSEE .....	63
4.4. Considerações Finais .....	65
<b>Capítulo 5 – Immersive Software Engineering Education .....</b>	<b>66</b>
5.1. Introdução .....	66
5.2. <i>Framework</i> iSEE .....	66
5.2.1. Fator Objetivo Imersão .....	67
5.2.2. Fator Objetivo Tecnologias Imersivas.....	67
5.2.3. Fator Objetivo Interação .....	69
5.2.4. Fator Objetivo Visualização de Software .....	70
5.2.5. Fator Subjetivo Resultados de Aprendizagem .....	70
5.2.6. Fator Subjetivo Abordagens Pedagógicas .....	71
5.2.7. Fator Subjetivo Senso de Presença.....	72
5.2.8. Fator Subjetivo Perfil do Estudante .....	73
5.2.9. Fator Subjetivo Contexto.....	73
5.3. Plataforma iSEE .....	74
5.3.1. Implementação da Plataforma iSEE .....	76
5.3.2. Aplicações Imersivas .....	80
5.4. Considerações Finais .....	87
<b>Capítulo 6 – Avaliação Preliminar .....</b>	<b>89</b>
6.1. Introdução .....	89
6.2. Método de Pesquisa .....	89

6.3. Resultados da Avaliação Heurística .....	94
6.3.1. Perfil dos Participantes .....	94
6.3.2. Análise Quantitativa .....	96
6.3.3. Análise Qualitativa .....	100
6.3.4. Ameaças à Validade .....	102
6.4. Considerações Finais .....	102
<b>Capítulo 7 – Conclusão .....</b>	<b>104</b>
7.1. Principais Contribuições .....	104
7.2. Método de Pesquisa .....	104
7.2.1. Atividades Realizadas.....	105
7.2.2. Atividades Previstas .....	107
7.3. Cronograma Proposto .....	108
<b>Referências .....</b>	<b>110</b>
<b>Anexo I. Conjunto Final de Estudos Primários da Scopus.....</b>	<b>120</b>
<b>Anexo II. Conjunto Final de Estudos Primários do <i>Snowballing</i> .....</b>	<b>126</b>
<b>Anexo III. Protocolo do Mapeamento Sistemático .....</b>	<b>128</b>
1 Informações Gerais .....	128
1.1 Título .....	128
1.2 Pesquisadores.....	128
1.3 Abreviações .....	128
1.4 Descrição .....	128
2 Planejamento do Mapeamento Sistemático.....	129
2.1. Objetivos e Questão de Pesquisa .....	129
2.2. Definição do Escopo do Mapeamento Sistemático .....	132
2.3. Palavras-chave e <i>String</i> de Busca.....	133
2.4. Definição das Fontes de busca.....	134
2.5 Seleção e avaliação de estudos .....	135
2.5.1. Critérios de inclusão e exclusão dos estudos.....	135
2.5.2. Avaliação da qualidade dos estudos .....	136
3. Síntese dos dados e apresentação dos resultados.....	138
3.5. Estratégia de extração de dados .....	138
3.6. Estratégia de sumarização dos dados.....	139
4. Avaliação do Protocolo.....	139

4.5. <i>Checklist</i> .....	140
4.6. Estudo Piloto.....	140
5. Referências .....	142

## Lista de Figuras

Figura 1. 3DVLE proposto por HERPICH et al. (2014) .....	27
Figura 2. Avatares interagindo com o Planning Poker virtual (RODRIGUEZ et al., 2015) .....	28
Figura 3. Ambientes do OOAD-Game .....	29
Figura 4. Distribuição dos estudos primários por estratégia de busca.....	42
Figura 5. Distribuição dos estudos primários do Scopus por ano de publicação .....	42
Figura 6. Distribuição dos estudos primários do Snowballing por ano de publicação...	43
Figura 7. Distribuição de estudos primários por tipos de veículos de publicação.....	43
Figura 8. Representatividade dos estudos primários por tipo de veículos de publicação .....	46
Figura 9. Representatividade dos estudos primários por tipo de contribuição .....	47
Figura 10. Frequência dos domínios de aplicação.....	50
Figura 11. Frequência de teorias e abordagens pedagógicas.....	51
Figura 12. Frequência de dispositivos identificados .....	52
Figura 13. Distribuição dos tipos de tecnologias imersivas .....	53
Figura 14. Frequência dos indicadores para validação e análise .....	54
Figura 15. Continuum de Milgram .....	68
Figura 16. Visão geral da plataforma imersiva .....	75
Figura 17. Tela principal da plataforma imersiva.....	78
Figura 18. Dados dos aplicativos imersivos no formato JSON.....	78
Figura 19. Classe App responsável pelo download e execução de aplicativo imersivo.	78
Figura 20. Código do principal método da classe App .....	79
Figura 21. Tela de registro da aplicação imersiva .....	79
Figura 22. Aplicativo registrado.....	80
Figura 23. Oculus Rift e seus componentes .....	81
Figura 24. Botões do Oculus Touch utilizados no OO Game VR.....	82
Figura 25. Menu principal da aplicação OO Game VR .....	83
Figura 26. Classe UML do elemento primitivo cubo .....	83
Figura 27. Menu das propriedades da classe selecionada .....	84
Figura 28. Seleção de atributos e instanciação de um objeto .....	84
Figura 29. Menu das propriedades de um objeto.....	85

Figura 30 – Objetos com estados mudados após acessar as propriedades do objeto .....	85
Figura 31. Etapas da avaliação heurística.....	91
Figura 32. Frequência de interação com jogos .....	95
Figura 33. Conhecimento sobre o paradigma de orientação a objetos .....	95
Figura 34. Conhecimento sobre diagramas de classe UML .....	96
Figura 35. Conhecimento sobre programação orientada a objetos.....	96
Figura 36. Número de problemas instanciados por participantes.....	97
Figura 37. Frequência de problemas por heurística.....	98
Figura 38. Graus de severidade .....	98
Figura 39. Frequência dos graus de severidade por heurística .....	99
Figura 40. Frequência de problemas identificados .....	100
Figura 41. Problemas identificados por características de design .....	101
Figura 42. Peso dos graus de severidade por heurística .....	102



## Lista de Tabelas

Tabela 1. String de busca utilizada na base Scopus .....	37
Tabela 2. Formulário de extração de dados .....	39
Tabela 3. Número de citações dos artigos mais relevantes da base Scopus .....	41
Tabela 4. Lista de Conferências .....	44
Tabela 5. Lista de revistas científicas .....	45
<i>Tabela 6. Quadro comparativo entre frameworks .....</i>	<i>63</i>
Tabela 7. Guidelines do framework iSEE .....	64
Tabela 8. Fatores objetivos e subjetivos da aplicação OO Game VR .....	81
Tabela 9. Mapeamento entre as funcionalidades do OO Game VR e as formas de interação .....	82
Tabela 10. Fatores objetivos e subjetivos da aplicação OO Programming VR.....	86
Tabela 11. Fatores objetivos e subjetivos da aplicação Requirements VR .....	87
Tabela 12. Heurísticas de usabilidade para aplicações de RV .....	90
Tabela 13. Conjunto de tarefas do usuário .....	93
Tabela 14. Problemas identificados .....	99
Tabela 15. Cronograma de atividades desta proposta de tese .....	108
Tabela 16. Estrutura PICO do estudo .....	133
Tabela 17. Lista das fontes de busca .....	135
Tabela 18. Grupo de controle .....	141

# Capítulo 1 – Introdução

## 1.1. Preâmbulo

A comunidade de Educação de Engenharia de Software (EES) tem investigado sobre como fazer melhorias, a fim de superar os desafios do ensino utilizando diferentes abordagens. Segundo ALHAMMAD & MORENO (2018), os esforços concentraram-se principalmente em dois objetivos: definição e modelagem dos currículos de ES e melhoria dos métodos e técnicas na EES.

Diferentes esforços têm sido feitos para definir e adaptar os currículos de ES aos conteúdos e habilidades necessárias na prática profissional de ES. Exemplos de tais esforços são os padrões de currículo para graduação (SE, 2014; GSwE, 2009) e Modelo de Competência de ES (IEEE, 2019). Além disso, também pode-se considerar a compilação de opiniões de especialistas sobre o conhecimento a ser transmitido na EES (DAVEY & TATNALL, 2008; GRANT & HELPS, 2014; HAZZAN & TOMAYKO, 2005; KITCHENHAM *et al.*, 2005; LETHBRIDGE, 2000; LETHBRIDGE *et al.*, 2007).

Do ponto de vista de métodos e técnicas ao ensino de ES, uma abordagem utilizada é a de transformar o projeto executado em aula em um projeto do mundo real, como por exemplo, aplicando intencionalmente complicações inesperadas durante o projeto, ou envolvendo organizações externas (CHEN & CHONG, 2011; DAWSON, 2000). Outro método é utilizar um ambiente simulado em conjunto com palestras e projetos para melhorar a aprendizagem e compreensão de temas complexos (BAKER *et al.*, 2005). Além disso, a gamificação tem sido utilizada como abordagem para tornar a educação mais atraente por meio da incorporação de mecânicas e elementos de jogos (PEDREIRA *et al.*, 2015). Aliada a qualquer tipo de abordagem, a aprendizagem colaborativa destaca-se por desenvolver o pensamento crítico, aprofundar o nível de compreensão e aumentar a compreensão compartilhada do material (GOKHALE, 2012; JOHNSON *et al.*, 1994). De acordo com COCCOLI *et al.* (2011), a colaboração apoiada por computador é essencial na EES, pois as equipes de engenheiros da indústria comumente trabalham de forma colaborativa. Contudo, melhorar o processo de ensino e aprendizagem em ES por meio de experiências práticas e engajadoras, ainda emerge como um grande desafio para a comunidade de EES.

## 1.2. Motivação

Pesquisadores e educadores têm investigado o uso das abordagens Aprendizagem Baseada em Problemas (do inglês, *Problem-based Learning* - PBL), Aprendizagem Baseada em Projetos (do inglês, *Project-based Learning* - PrBL) e da Aprendizagem Baseada em Jogos (do inglês, *Game-based Learning* - GBL), a fim de melhorar os resultados de aprendizagem de ES. Através da abordagem PBL, os alunos recebem o desafio de desenvolver uma solução para um determinado problema apresentado. Estes problemas podem ser baseados em exemplos de livros ou podem ser problemas reais (DOS SANTOS, 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2013; RIBEIRO, 2005). Por outro lado, na abordagem PrBL, os alunos também devem resolver um problema. Contudo, grande parte dos trabalhos de EES, utilizam esta abordagem para simular um processo de desenvolvimento de software, com o intuito de transmitir conhecimentos essenciais de projetos de software, tais como decidir qual modelo de processo de desenvolvimento é o mais adequado, elicitar os requisitos do software aplicando técnicas para este fim, desempenhar os principais papéis de um projeto (*e.g.*, gerente de projetos, arquiteto de software, desenvolvedor), dentre outros (DAUN *et al.*, 2016; DAVENPORT, 2000; MACIAS, 2012; RODRIGUEZ *et al.*, 2015). A abordagem GBL, por sua vez, contribui à EES no sentido de potencializar as abordagens PBL e PrBL ao enfatizar o engajamento e motivação dos alunos através de atividades dinâmicas e lúdicas que os jogos proporcionam (CAPONETTO *et al.*, 2014; CONNOLLY *et al.*, 2007; JAIN & BOEHM, 2006).

Ao analisar estas abordagens, nota-se que o objetivo em comum é tentar imergir o aluno em situações, as quais serão vivenciadas no cotidiano de um engenheiro de software. Neste contexto, o termo imersão é tratado como uma maneira de expor aos alunos situações que se aproximam da realidade, a fim de que competências e habilidades necessárias para um engenheiro de software sejam desenvolvidas no ambiente acadêmico. Sendo assim, neste ponto de vista, as abordagens PBL, PrBL e GBL são métodos imersivos que auxiliam a EES em proporcionar experiências mais práticas em vez de aulas massivamente teóricas em um contexto acadêmico.

A fim de potencializar este objetivo, estas abordagens podem utilizar recursos computacionais em vez de analógicos, como por exemplo jogo de cartas (BAKER *et al.*, 2005). Neste trabalho, estes recursos computacionais serão tratados como softwares educacionais. Um software educacional é um software cujo objetivo reside em auxiliar

no processo de ensino e aprendizagem (ABREU *et al.*, 2012). Pesquisadores têm contribuído no desenvolvimento de softwares educacionais de ES (GAROUSI *et al.*, 2019). A maioria deles possui interação humano-computador por meio do paradigma WIMP<sup>1</sup>, porém outros têm investigado os benefícios da utilização de Ambientes Virtuais de Aprendizagem 3D (do inglês, *3D Virtual Learning Environments* – 3DVLEs).

3DVLE é um espaço virtual e tridimensional, também conhecido como Mundo Virtual (MV), com propósitos educacionais, no qual o usuário interage por meio de dispositivos tradicionais (*e.g.*, teclado, *mouse* e monitor) ou não tradicionais (tratado neste trabalho como dispositivos imersivos – *e.g.*, *Head-mounted display*, luvas hápticas, sensores de movimento) (ALARIFI, 2008). O 3DVLE é um dos elementos-chave das tecnologias imersivas de Realidade Virtual (RV) e Realidade Misturada (RM). Enquanto na RV o MV é composto somente por imagens geradas por computador, o MV da RM é composto por elementos do mundo real e virtual, transmitindo ao usuário a sensação de coexistência entre estes elementos (TORI *et al.*, 2006).

### 1.3. Problema e Questão de Pesquisa

Os 3DVLEs desenvolvidos para auxiliar a EES, limitam-se principalmente na reconstrução de ambientes intrinsecamente tridimensionais, na comunicação entre os usuários por meio de avatares<sup>2</sup> e interação e visualização de artefatos de software da mesma forma que em ferramentas tradicionais de ES.

Em HERPICH *et al.* (2014), INAYAT *et al.* (2016) e RODRIGUEZ *et al.* (2015), de modo geral, o MV consiste em auxiliar o ensino de processos de software, permitindo ao aluno desempenhar os principais papéis em projetos de software, utilizar técnicas de determinados modelos de processo de desenvolvimento (*e.g.*, Scrum e prototipação), navegar em diferentes ambientes (*e.g.*, salas de reuniões e sala dos programadores), comunicar com outros avatares e interagir e visualizar com diagramas UML da mesma forma como são tratados em ferramentas CASE, por exemplo. Em projetos reais, diagramas UML são complexos, pois retratam os vários aspectos do software e com um grande volume de informações (RODRIGUES, 2012). Em outras palavras, 3DVLEs de

---

<sup>1</sup> Na interação humano-computador, WIMP significa, do inglês, *window, icon, menu and pointing device*, ou seja, um estilo de interação usando esses elementos (CYBIS *et al.*, 2017).

<sup>2</sup> Representação do usuário no mundo virtual (ALARIFI, 2008).

ES restringem-se a simulação e interação entre os usuários no contexto de um projeto de desenvolvimento de software.

A utilização de tecnologias imersivas (RV e RM) para fins educacionais é conhecida como uma recente área de pesquisa, denominada Educação Imersiva (do inglês, *Immersive Education* - iE) ou Aprendizagem Imersiva (do inglês, *Immersive Learning* - iL) (CALLAGHAN *et al.*, 2016). Estudos revelam evidências de que experiências imersivas contribuem para a melhoria dos resultados de aprendizagem (DENGEL & MÄGDEFRAU, 2018; DUNLEAVY *et al.*, 2009; FREITAS & NEUMANN, 2009; HERRINGTON *et al.*, 2007). Estas experiências imersivas são proporcionadas principalmente pela sintonia entre o grau de imersão (característica de dispositivos imersivos) e o senso de presença (percepção do usuário de pertencer ao MV) (DENGEL & MÄGDEFRAU, 2018).

Partindo da definição de TORI *et al.* (2006), de que RV não imersiva utiliza dispositivos tradicionais e RV imersiva utiliza dispositivos imersivos, os 3DVLEs de ES que utilizam dispositivos tradicionais podem ser classificados como RV não imersiva. Conseqüente, a limitação destes ambientes para auxiliar a EES consiste, principalmente, na falta de evidências de que experiências imersivas contribuem para a melhoria dos resultados de aprendizagem de ES. Neste trabalho, entende-se como experiências imersivas a exploração do potencial da visualização tridimensional e interatividade dos dispositivos imersivos. Portanto, baseando-se na limitação dos 3DVLEs de ES e nas vantagens da iE, definiu-se a seguinte questão de pesquisa:

*Como experiências imersivas podem contribuir para a melhoria dos resultados de aprendizagem de Engenharia de Software?*

#### **1.4. Hipóteses de Pesquisa**

Considerando a iE como solução às limitações apresentadas anteriormente, iniciou-se uma revisão *ad-hoc* da literatura com a finalidade de obter uma visão geral do estado da arte desta recente área de pesquisa. Notou-se em diversos estudos primários a ambigüidade e a falta de consenso na definição dos principais termos, tais como imersão, senso de presença, estado de *flow*, engajamento, dentre outros. Por exemplo, enquanto BOWMAN & MCMAHAN (2007) e DENGEL & MÄGDEFRAU (2018) definem imersão como características de dispositivos imersivos, outros definem como uma

sensação de “estar lá”, ou seja, senso de presença (ABDELAZIZ, 2014; CUMMINGS & BAIENSON, 2016). Além disso, também foram identificados alguns *frameworks* conceituais, os quais consistem em auxiliar no desenvolvimento e/ou seleção de MVs com objetivos educacionais (DENGEL & MÄGDEFRAU, 2018; FREITAS & NEUMANN, 2009; IP *et al.*, 2018). Segundo MORA *et al.* (2015), um *framework* é uma estrutura real ou conceitual destinada a servir como suporte ou guia para a construção de algo útil. Estes *frameworks*, além de herdarem o problema da ambiguidade na definição dos principais termos (imersão e senso de presença), são muito teóricos, inferindo uma alta carga de conhecimentos sobre teorias pedagógicas, bem como na falta de objetividade no desenvolvimento de aplicações educacionais imersivas para uma determinada área do conhecimento, como por exemplo para engenharia, matemática, idiomas, dentre outros.

*Frameworks* conceituais são comuns em EES e há propostas que orientam o uso das abordagens pedagógicas PBL, PrBL e GBL, de forma que otimizem o ensino de ES. Por exemplo, SOUZA (2019) propôs um *framework* conceitual para apoiar professores no planejamento e execução de tarefas práticas usando os princípios de PBL e GBL; SUBRAMANIAM *et al.* (2017) construíram um *framework* conceitual baseado em PrBL para facilitar o desenvolvimento de competências e habilidades de ES em alunos de graduação e YIN (2006) também desenvolveu um meio para auxiliar a aplicação de PBL em EES. No entanto, considerando o *framework* conceitual como estratégia em auxiliar o alcance de objetivos de forma eficiente, não existe uma proposta que oriente no desenvolvimento de aplicações educacionais imersivas para ES, de maneira que considere as principais abordagens utilizadas na EES para tornar o ensino prático e mais próximo da realidade do engenheiro de software, bem como no potencial das tecnologias imersivas, visando a melhoria dos resultados de aprendizagem de ES.

Uma vez desenvolvidas as aplicações imersivas, estas serão aplicações isoladas, como acontecem com os softwares educacionais de ES em sua maioria. Ou seja, o *framework* conceitual auxiliará pesquisadores e educadores no desenvolvimento das aplicações educacionais imersivas de ES, mas estas serão disponibilizadas aleatoriamente, isto se não restringirem-se a protótipos acadêmicos, como acontece em grande parte documentados em estudos primários.

Esta proposta de tese propõe a abordagem Educação Imersiva de Engenharia de Software (em inglês, *Immersive Software Engineering Education - iSEE*). A abordagem iSEE visa dupla contribuição: (i) propor um *framework* conceitual para auxiliar no

desenvolvimento de aplicações imersivas, denominado *framework* iSEE e (ii) desenvolver a plataforma iSEE que auxilie educadores e alunos a escolherem adequadamente uma aplicação imersiva considerando: competências e habilidades de ES a serem desenvolvidas; as características dos dispositivos imersivos e as abordagens pedagógicas adotadas pela aplicação. Neste sentido, para responder à questão de pesquisa deste trabalho, definiu-se duas hipóteses de pesquisa a serem testadas:

- **H00:** O *framework* iSEE não contribui para o desenvolvimento de aplicações educacionais imersivas de ES mais eficazes;
  - **H01:** O *framework* iSEE contribui para o desenvolvimento de aplicações educacionais imersivas de ES mais eficazes;
- **H10:** A plataforma iSEE não auxilia na escolha da aplicação educacional imersiva mais adequada;
  - **H11:** A plataforma iSEE auxilia na escolha da aplicação educacional imersiva mais adequada.

## 1.5. Objetivos

Diante do problema e questão de pesquisa apresentados na Seção 1.3, bem como as hipóteses desta pesquisa definidas na Seção 1.4, o objetivo principal desta proposta de tese é definir, implementar e avaliar uma abordagem, denominada iSEE, baseada em experiências de aprendizagem imersivas como método de apoio à EES visando a melhoria dos resultados de aprendizagem.

Para alcançar o objetivo da proposta, foram estabelecidos, *a priori*, quatro etapas principais:

1. Revisar e obter o estado da arte sobre AI, identificando os principais conceitos relacionados (*e.g.*, imersão, senso de presença, resultados de aprendizagem, teorias pedagógicas, dentre outros), técnicas de visualização e o uso de dispositivos imersivos, bem como métodos de avaliação, a fim de medir o ganho de aprendizagem, imersão e senso de presença por meio de uma Revisão Rápida (do inglês, *Rapid Review* – RR) da literatura;
2. Caracterizar trabalhos existentes que utilizam experiências imersivas à EES, com o objetivo de analisar suas características, pontos fortes e limitações, bem como plataformas imersivas em outros domínios;

3. Conceber um *framework* teórico baseado no estado da arte em iE e nas abordagens imersivas de ensino de ES, com o intuito de mapear os principais elementos que devem ser considerados para o desenvolvimento de aplicações imersivas educacionais de ES;
4. Implementar uma plataforma de aprendizagem imersiva de ES, cujo objetivo seja fomentar uma comunidade de pesquisadores, educadores e alunos interessados em experiências imersivas de aprendizagem de ES por meio de tecnologias imersivas.
5. Realizar um estudo preliminar de uma aplicação educacional imersiva de ES, desenvolvida baseada no *framework*, a fim de validar parte da proposta de tese.

## 1.6. Organização do Texto

Este exame de qualificação está organizado em outros sete capítulos, além desta introdução.

O Capítulo 2 apresenta um panorama sobre a EES, do ponto de vista das abordagens PBL, PrBL e GBL, utilizadas para tornar o ensino de ES mais prático e dinâmico, bem como o uso de 3DVLEs no ensino de ES.

O Capítulo 3 apresenta o protocolo, a análise e resultados de um RR com o objetivo de caracterizar a área de pesquisa iE.

O Capítulo 4 apresenta e discute os principais elementos de *frameworks* teóricos em iE que visam orientar no desenvolvimento e/ou seleção de aplicações educacionais e imersivas. Além disso, é apresentado um quadro comparativo que relaciona os principais elementos dos *frameworks* com as *guidelines* propostas para o *framework* iSEE.

O Capítulo 5 apresenta a proposta de tese, cujo principal objetivo é apoiar a EES por meio de experiências imersivas. A fim de alcançar este objetivo, um *framework* teórico com fatores objetivos e subjetivos de iE, bem como uma plataforma imersiva para EES são apresentados detalhadamente.

O Capítulo 6 descreve a metodologia, bem como a análise e resultados de um estudo preliminar de uma aplicação educacional imersiva de ES, com o objetivo de validar parcialmente esta proposta de tese.

Por fim, o Capítulo 7 conclui este exame de qualificação, indicando as principais contribuições deste trabalho, as atividades em andamento e previstas, assim como os resultados preliminares e previstos são expostos e mapeados a um cronograma para a execução desta proposta.



## Capítulo 2 – Educação de Engenharia de Software

### 2.1. Introdução

O estudo e a prática da ES são influenciados tanto pelas raízes na ciência da computação quanto pelas disciplinas de engenharia, com foco nas habilidades profissionais. De acordo com o Guia de Currículo de Cursos de Graduação de Ciências da Computação (ACM, 2013), certas características gerais são esperadas dos graduados em computação que vão além do conhecimento técnico; em particular, eles devem ter experiência em projetos e habilidades de resolução de problemas e a aplicação da teoria na prática. Do ponto de vista da engenharia, o Guia de Currículo de Cursos de Graduação de Engenharia de Software (ACM, 2015) reforça a importância das habilidades de solução de problemas, nos quais engenheiros devem realizar uma série de tomadas de decisões, avaliando cuidadosamente as opções e escolhendo uma abordagem em cada ponto de decisão apropriado para a tarefa no contexto atual.

No entanto, para desenvolver essas competências, uma aprendizagem mais aplicada é necessária, diferente das aulas tradicionais no formato de palestras, que se concentram na transmissão de conhecimentos sobre o assunto e pouco tempo para as atividades práticas. Geralmente, tais aulas são muito diferentes das situações da vida real. No ambiente da indústria, o cliente tem um problema que requer uma solução de software, mediante as restrições de tempo e custo. Este problema pode ser mal estruturado e sujeito a alterações e, geralmente, possui aspectos que o cliente não entende. Para resolver esta situação, os engenheiros de software trabalham em equipe, comunicando e compartilhando seus conhecimentos com colegas, usando ferramentas e processos adaptativos e sendo orientados a objetivos comuns.

Na aprendizagem tradicional, os alunos tendem a trabalhar individualmente, não cooperam e não compartilham seus conhecimentos com outros alunos (para fins de avaliação) e são incentivados a simplesmente memorizar o conhecimento e depois reproduzi-lo em testes, os quais medem o conhecimento de uma forma quantitativa. Quando os alunos estão em um processo de PrBL, sua complexidade de aprendizado é minimizada pela estruturação cuidadosa dos projetos e pelo fornecimento de condições estáveis dentro dos limites da disciplina que está sendo ministrada. Um ambiente de

aprendizado, no entanto, deve não apenas ser prático, mas também fiel à realidade do mercado.

Neste sentido, PBL é uma das formas apropriadas de conciliar teoria e prática, concentrando-se em colocar os alunos no centro do processo de aprendizagem e envolvê-los em situações reais. Esse método, baseado em teorias construtivistas da aprendizagem, tem sido usado na educação, onde os alunos trabalham em equipes para resolver problemas, promovendo o desenvolvimento de habilidades como proatividade, cooperação e aprendizado para assumir um ponto de vista crítico (DOS SANTOS, *et al.*, 2013).

Além das abordagens PrBL e PBL, a utilização de mecanismos baseados em jogos tem sido bastante utilizada para apoiar o processo de ensino e aprendizagem. GBL tem demonstrado ser uma prática adequada em vários ambientes educacionais, desde o ensino básico até nas universidades (ALHAMMAD & MORENO, 2018). Na literatura técnica, GBL para adultos é referida como “gamificação” (DI-SERIO *et al.*, 2014) ou “jogos sérios” (BAPTISTA & OLIVEIRA, 2019). O termo “jogos sérios” é usado para enfatizar que esses jogos não são apenas para entretenimento, mas também para alcançar um certo resultado educacional. O termo “gamificação” entrou no ensino superior como uma ferramenta para aumentar a motivação dos alunos e melhorar seu envolvimento com o processo educacional (CAPONETTO *et al.*, 2014).

Este capítulo tem como finalidade apresentar uma visão geral do estado da arte, do ponto de vista das principais abordagens utilizadas para tornar o ensino de ES mais prático e dinâmico, de forma que aproxime ao máximo das principais tarefas de um engenheiro de software, *i.e.*, trabalhar em equipe em um contexto de projeto. Através de uma revisão *ad-hoc* da literatura técnica, identificou-se que as abordagens PBL, PrBL e GBL são as mais utilizadas, bem como o uso de mundos virtuais de aprendizagem tridimensionais, como tecnologias educacionais para auxiliar nas aulas de ES, mais precisamente para estimular o engajamento e simulação de tarefas rotineiras para um engenheiro de software. Portanto, o corpo de conhecimento apresentado neste capítulo é importante no intuito de compreender como a proposta desta tese pode potencializar estas abordagens, porém priorizando as experiências imersivas como principal meio de melhoria dos resultados de aprendizagem de ES.

Este capítulo está organizado de maneira que a Seção 2.2, Seção 2.3, Seção 2.4 e Seção 2.6 apresentam e discutem sobre as abordagens PBL, PrBL, GBL e ambientes

virtuais de aprendizagem tridimensionais, respectivamente. As considerações finais do capítulo são apresentadas na Seção 2.6.

## **2.2. Aprendizagem Baseada em Problemas**

A abordagem PBL surgiu no final dos anos 60 no Canadá em um curso de Medicina da Universidade de McMaster (BARROWS, 1996). No Brasil, PBL foi utilizada por alguns cursos de Medicina de algumas universidades e ao longo do tempo esta abordagem tem sido adaptada para outros contextos educacionais, sendo empregada em diversas áreas, como Pedagogia, Administração de Empresas e Engenharias (RIBEIRO, 2005).

A PBL é um método instrucionista baseada na teoria construtivista. Diferentemente do modelo tradicional, o processo de construção do conhecimento ocorre de forma colaborativa e com maior interação entre os estudantes. Problemas reais (ou potencialmente reais) são utilizados para iniciar, direcionar, motivar e focar a aprendizagem. O aluno passa a desempenhar um papel mais ativo no processo, enquanto o professor torna-se um facilitador do conhecimento (SOUSA, 2010).

Dentre as características que tornam a utilização de PBL interessante está a possibilidade de atingir objetivos educacionais mais amplos, tais como adaptabilidade a mudanças, habilidade de solucionar problemas em situações não rotineiras, pensamento crítico e criativo, trabalho em equipe e compromisso com o aprendizado, dentre outros (RIBEIRO, 2005).

Normalmente, PBL possui um processo que começa com a apresentação do problema a um grupo de alunos, no qual é levantado um cenário da problematização. Em seguida, os estudantes fazem a discussão em conjunto, identificam ideias e fatos, formulam hipóteses, definem questões e metas a serem cumpridas. Logo após essa etapa, os alunos desempenham um estudo autônomo, onde investigam conteúdos que auxiliam nas respostas às questões e metas definidas. Na próxima etapa, reúnem-se novamente em uma sessão, na qual é realizada uma nova discussão para aplicação dos novos conhecimentos (HMELO-SILVER, 2004).

Na finalização da resolução de cada problema é realizada uma avaliação. Os alunos refletem sobre o conhecimento construído, avaliam o processo, o tutor, os pares e também realizam uma autoavaliação. O tutor é importante no processo, pois deve-se observar cuidadosamente as sessões e desenvolver estratégias específicas, para que os

alunos possam superar as deficiências detectadas e desenvolver as competências desejadas (HMELO-SILVER, 2004).

Segundo DOS SANTOS *et al.* (2013), a adoção de PBL à educação em computação não é uma tarefa fácil. Os principais desafios estão relacionados à maneira de como é aplicada. De acordo com DOS SANTOS (2016), na prática, há um alto investimento em gerenciar e aplicar os princípios do PBL, exigindo tempo e pessoas adicionais assumindo determinadas funções e supervisionando certos processos. Como resultado, esses princípios nem sempre são seguidos de perto e eficazes. Gerenciar o PBL como processo de avaliação é indispensável para obter resultados positivos no processo de ensino e aprendizagem.

Por outro lado, alguns estudos mostraram resultados efetivos. Segundo TUOHI (2007), após um experimento em que os professores foram treinados em PBL, identificou-se alguns pontos importantes na definição do processo de avaliação em PBL, destacando a melhor forma de aplicar a abordagem, a necessidade de definir quem e o que é avaliado, a melhor avaliação de ferramentas (orais ou escritas) e o tipo de indicadores a serem usados, enfatizando a importância de que todas as partes participem do processo de avaliação e de *feedback* contínuo ao longo do processo.

YIN (2006) destacou a importância de avaliações formativas na abordagem PBL, tanto na avaliação de grupos de estudantes quanto de indivíduos. Além disso, ELIZONDO-MONTE MAYOR (2004) destacou a necessidade de alinhamento entre os objetivos educacionais e o processo de avaliação. Esses estudos discutem questões relevantes para o processo de avaliação do PBL, mas nenhum propõe um modelo que apoie sua implementação.

A partir deste ponto de vista e sobre a aplicabilidade do PBL ao ensino de ES, DOS SANTOS (2016) foi motivado por essa necessidade e desenvolveram um modelo de avaliação para a abordagem PBL para apoiar a EES, denominada PBL-SEE. Este modelo apoia a abordagem PBL no processo de ensino e aprendizagem com um ciclo de gerenciamento que oferece ao coordenador pedagógico uma visão completa dos estágios de planejamento, implementação, monitoramento e melhoria contínua e é composto por três níveis: avaliação do aluno, avaliação da PBL e avaliação do ensino.

O primeiro nível enfatiza que o contexto e o problema precisam ser reais, a fim de fornecer condições para avaliar o desempenho dos alunos, com intensa participação. Além disso, a avaliação precisa ser integrada às atividades dos alunos, incluindo vários e

bem definidos indicadores de desempenho. Na própria indústria de software, esse ambiente de aprendizado pode ser criado por meio de “fábricas de software” definidas como unidades de desenvolvimento estruturadas e integradas, com funções e responsabilidades claras, suportadas por ferramentas e processos bem definidos. O segundo nível foca na avaliação da maturidade da abordagem PBL. Por fim, o terceiro nível concentra-se no desempenho dos professores e no planejamento do ensino.

Por outro lado, RICHARDSON *et al.* (2011) relatam um estudo de caso sobre a aplicação da PBL em um módulo de qualidade de software em um curso de ES. A adoção do PBL foi uma experiência positiva tanto para os alunos quanto para o professor envolvido. Do ponto de vista do professor, forneceu-se uma abordagem diferente ao ensino, que é interativa e motivadora. Do ponto de vista dos alunos, proporcionou uma experiência de resolver um problema do mundo real e a oportunidade de entender a qualidade do software e seus efeitos. Os alunos alcançaram resultados de aprendizagem definidos e adquiriram habilidades sociais que serão importantes em suas carreiras como engenheiro de software. Além disso, os alunos tiveram uma visão ativa de um projeto de pesquisa.

Além disso, segundo os autores, embora a experiência tenha apresentado resultados positivos, a ampla aplicação do PBL à ES exige que a experiência possa ser repetida e generalizada. Situar problemas em um contexto conhecido pelo aluno é importante, porém isto caracteriza-se como uma tarefa difícil de ser implementada. Os autores ainda afirmam que os professores de ES precisam de maior compreensão e conscientização quanto à estrutura do processo de PBL, consciência da utilidade do resultado na indústria, a fim de que adoção do PBL na EES tenha êxito.

### **2.3. Aprendizagem Baseada em Projetos**

Assim como a PBL, PrBL tem sido adotada em cursos de diversas áreas nos últimos anos. Em especial, um alto número de cursos na área de ciências da computação tem adotado a PrBL como método inovador a fim de melhorar o ensino (DAVENPORT, 2000; GONDIM *et al.*, 2011; NAOYA *et al.*, 2009). Nesta abordagem, os alunos concluem um projeto de maneira semelhante à indústria, resultando na melhoria de habilidades e aperfeiçoamento de conhecimentos dos alunos.

KIZAKI *et al.* (2014) implementaram um curso com graduandos em engenharia, no qual aprenderam colaborativamente como desenvolver sistemas de informação por

meio da PrBL. No projeto de desenvolvimento de software em pequena escala foi adotado o método Scrum, a fim de guiar a produção de software e mitigar problemas na falta de comunicação entre os membros, os clientes e as diferenças das capacidades técnicas entre os membros.

O uso de portfólio na educação permite uma nova forma de avaliação considerando mais trajetória do aluno do que provas e testes. Segundo BOAS (2005), o portfólio é uma coleção das produções do aluno, as quais apresentam as evidências de sua aprendizagem, caracterizando-se como um procedimento de avaliação que permite aos alunos participarem da formulação dos objetivos de sua aprendizagem e avaliar o seu progresso.

MACIAS (2012) apresenta um portfólio eletrônico como uma abordagem para melhorar os processos de ensino e aprendizagem e avaliação em ambientes baseados na PrBL e utilizou um curso prático de ES baseados em projetos para validar a abordagem. Segundo o autor, o portfólio eletrônico é um mecanismo que permite aos alunos realizarem projetos de software, abordando cada fase de forma colaborativa com outros alunos, obtendo *feedback* apropriado dos instrutores e conduzindo a autorreflexão em seu próprio trabalho, bem como permite aos instrutores a monitoração, avaliação e fornecimento de *feedback* mais eficaz aos alunos, a fim de melhorar a aprendizagem em um processo de avaliação contínua, comumente em cursos práticos de ES.

ÜSTÜNEL (2020) relata uma experiência de adaptação de um módulo de sistemas embarcados de um curso de ES baseado em projetos. Um sistema embarcado é um sistema integrado formado por hardware e software e este tipo de sistema possui efeitos positivos na operação estável e mais inteligente de um sistema integrado. Para desenvolver um software de sistema embarcado é trivial possuir as competências de desenvolvimento de software e de hardware, principalmente. Em grande parte dos cursos de ES, o ensino é orientado ao desenvolvimento de software e questões sobre hardware são desconsiderados, visto que o desenvolvedor de software precisa conhecer o hardware de acordo com as necessidades. Além disso, os estudantes de ES precisam desenvolver habilidades como trabalhar em equipe. Desta forma, o curso deu enfoque no desenvolvimento de software para sistemas embarcados baseado em projetos, tendo como prioridade as características de hardware, tais como erros, compilação, desempenho, dentre outros.

DAUN *et al.* (2016) apresentaram uma abordagem de ensino baseada em projetos para apoiar cursos de engenharia de requisitos. A abordagem de ensino se concentra na descoberta de conhecimento individual por meio de exemplos de casos industriais realistas, a fim de melhorar o ensino de conceitos teóricos. Um estudo foi realizado com alunos de pós-graduação e de graduação. Os resultados mostram maior motivação dos alunos, indicações de um processo de descoberta de conhecimento mais autogerido e níveis mais altos de envolvimento. No entanto, identificou-se preocupações crescentes dos alunos com relação a suas avaliações e um esforço mais exigente por parte dos instrutores para supervisionar e orientar o progresso dos alunos na graduação.

## **2.4. Aprendizagem Baseada em Jogos**

A abordagem GBL tem sido aplicada em diversas áreas do conhecimento e aplicabilidades, incluindo medicina (BEALE *et al.*, 2007), gestão do conhecimento (CHRISTOPH, 2006), treinamento militar (SCHNEIDER *et al.*, 2005), ciências e matemática (HABGOOD, 2007), ensino de idiomas (JOHNSON & WU, 2008), engenharia de software, ciência da computação e sistemas de informação (FORD JR & MINSKER, 2003; JAIN & BOEHM, 2006; NAVARRO & VAN DER HOEK, 2005; SHAW & DERMOUDY, 2005; WARAICH, 2004; ZHU *et al.*, 2007).

Segundo HAINEY *et al.*, (2011), cursos típicos de ES falham em ensinar algumas das habilidades necessárias como desenvolvedores profissionais de software, pois aulas expositivas não preparam adequadamente sobre o processo de desenvolvimento de software. Desta forma, novas abordagens são necessárias para solucionar as deficiências das abordagens tradicionais (NAVARRO *et al.*, 2004). Alguns problemas associados às abordagens tradicionais de ensino de ES podem ser potencialmente superados por meio de GBL, uma vez que esta abordagem é percebida como uma forma altamente envolvente de aprendizado.

Com o intuito de ensinar conceitos gerais de ES, CONNOLLY *et al.* (2007) desenvolveram um jogo, denominado SDSim, cujo objetivo principal é proporcionar à equipe o gerenciamento e entrega de vários projetos de desenvolvimento de software, sendo que cada jogador poderá assumir uma função específica, como gerente de projeto, analista de sistemas, *designer* de sistemas ou líder de equipe. O jogo tem como enfoque estudantes universitários e é baseado em cenários, a fim de permitir aos jogadores acesso a uma variedade de cenários de projetos, cada um fornecendo informações de tempo,

orçamento do projeto, custos da equipe, custos de recursos etc. - proporcionando uma experiência prática de ES.

Diferente do jogo SDSim, no qual trata sobre questões gerais da ES, DesigMPS (CHAVES *et al.*, 2015) é um jogo para auxiliar no ensino de modelagem de processos de software em cursos de graduação em computação, baseando-se no modelo de Melhoria do Processo de Software Brasileiro (MPS.BR) (SOFTEX, 2020). Em termos de objetivos educacionais, visa os níveis cognitivos de lembrança, compreensão e aplicação, de acordo com a versão revisada da taxonomia de Bloom (KRATHWOHL & ANDERSON, 2009). No jogo, o aluno desempenha o papel de um engenheiro de processo que deve modelar um processo com base no Modelo de Referência associado à Melhoria de Processo de Software (MR-MPS-SW) (SOFTEX, 2020), usando o SLIDER\_ML como linguagem de modelagem de processos de software (BARROS & OLIVEIRA, 2010). O DesigMPS orienta o aluno a alcançar este objetivo através de quatro estágios das atividades de modelagem de processos. No final de cada estágio, o modelo criado pelo aluno é comparado com o modelo de referência de acordo com critérios de similaridade predefinidos. Automaticamente é gerada uma pontuação que, junto com as indicações de erro, fornecerá *feedback* ao aluno. Uma pontuação acima de um limite predefinido permite que o aluno avance para a próxima etapa; caso contrário, ele permanecerá no mesmo estágio.

Ainda no ensino de processos de software, um jogo de simulação para dois jogadores, denominado SimSE, foi desenvolvido por NAVARRO & VAN DER HOEK (2004). No jogo, através de sua interface 2D, o jogador atua como gerente de projeto, responsável por um projeto de ES. A dinâmica do jogo permite ao jogador atribuir tarefas aos engenheiros de software de acordo com seus pontos fortes e, em seguida, ajustando a tarefa atribuída de acordo com vários eventos ocorridos no jogo, como por exemplo o cliente alterar a exigência. O jogador também pode motivar os engenheiros de software aumentando o salário ou dando bônus. O principal objetivo do jogo é lançar o software que contemple o máximo de requisitos, com menor número de erros e em tempo hábil. Se o jogador não puder entregar o software dentro do prazo ou se o custo do projeto exceder o limite, o jogador falhará no jogo - caso contrário, será atribuída uma pontuação quando o jogador entregar o software com base em seu desempenho.

Além de abordagem GBL auxiliar em assuntos teóricos da ES e no desenvolvimento de habilidades de colaboração e comunicação, CodeCombat é um jogo



projetado para ensinar codificação nas linguagens Javascript e Python (CODECOMBAT, 2020). Os jogadores controlam uma variedade de personagens mágicos e heróis através de vários níveis, incluindo labirintos, prevenção de obstáculos e níveis de combate. Embora esse tipo de software educacional possa ser destinado a estudantes mais jovens, também pode ser aplicado no ensino superior. É especialmente interessante para estudantes de engenharia da computação com menos experiência em programação e codificação. O jogo possui um modo de sala de aula dedicada, que permite aos educadores acompanhar o progresso geral de toda a turma, além de gerar relatórios e estatísticas sobre o desempenho da turma ou de um aluno em particular.

## **2.5. Ambientes Virtuais de Aprendizagem 3D**

Os Ambientes Virtuais Tridimensionais (do inglês, *3D Virtual Environments* – 3DVEs), também conhecidos como Mundos Virtuais (MVs), são plataformas que possibilitam a interação entre usuários (ALARIFI, 2008), por meio de suas representações virtuais, denominadas avatares (DENOYELLES & SEO, 2012). Essas plataformas, inicialmente desenvolvidas para fins de entretenimento e jogos, também estão sendo usadas para fins educacionais (DUNCAN *et al.*, 2012). Esses ambientes educacionais são chamados de Ambientes Virtuais de Aprendizagem 3D (3DVLEs) (ZUIKER, 2012).

3DVLEs atraíram um interesse notável por volta de 2012 devido ao surgimento de aplicativos, tais como Pokémon Go e SoundPacman (CHATZIDIMITRIS *et al.*, 2016; SERINO *et al.*, 2016). Estes aplicativos utilizam a tecnologia de Realidade Aumentada (RA) para combinar o mundo real e o virtual (DUNLEAVY *et al.*, 2009).

Através do 3DVLE, pode-se observar um determinado problema em diferentes perspectivas e incluir atividades virtuais difíceis de praticar com a devida segurança no mundo real. Os usuários podem acessar conteúdos virtuais simultaneamente, compartilhar informações, receber *feedback* em várias perspectivas e realizar atividades interagindo com objetos virtuais e indivíduos de diferentes locais (CHENG *et al.*, 2017). Eles também são importantes para as políticas da universidade que desejam atender às necessidades de usuários de diferentes locais, permitindo que estes se reúnam em ambientes de sala de aula virtual e, assim, façam uso das tecnologias imersivas, as quais progridem rapidamente (DIEGMANN *et al.*, 2015).

Além disso, dentre as vantagens dos 3DVLEs, pode-se destacar que a utilização de avatares pode ser útil para melhorar as habilidades de comunicação, enquanto a

interação de objetos virtuais pode fornecer uma experiência da vida real (DUNCAN *et al.*, 2012). Avatares, ferramentas de navegação e socialização fornecem senso de presença, os quais estão positivamente associados a melhores resultados de aprendizado em MVs (MORENO & MAYER, 2004).

De modo geral, 3DVLEs permitem a inclusão e a prática de atividades para o aprendizado experimental, simulação, modelagem de cenários complexos, dentre outros, com a oportunidade de colaboração que não pode ser facilmente experimentada em outras plataformas (VALENTE & NETO, 2007). MEDINA (2004) afirma que a aprendizagem, realizada através das experiências pessoais dos participantes e das interações com outros participantes, torna-se mais produtiva, consolidada e dinâmica.

Um dos maiores obstáculos que os educadores enfrentam no processo de ensino e aprendizagem é a necessidade de utilizar métodos que tornem esse trabalho mais efetivo e prazeroso (HERPICH *et al.*, 2014). Na EES não é diferente, pois a forma tradicional de ensino centrada excessivamente no professor, não atrai a atenção dos alunos. Desta forma, 3DVLE é uma das alternativas utilizadas para colocar o aluno no centro do processo de aprendizagem e, conseqüentemente, contribuir para a melhoria dos resultados de aprendizagem de ES.

HERPICH *et al.* (2014) definiram uma abordagem para o processo de ensino e aprendizagem de ES, por meio da integração de diferentes recursos e tecnologias (*e.g.*, Moodle, OpenSim, Sloodle, Firestorm e GenMyModel), bem como o uso do PBL como metodologia de ensino. Através deste conjunto de ferramentas, foi concebido um laboratório virtual com o intuito de ser uma ferramenta complementar no processo de construção do conhecimento, buscando auxiliar os professores na preparação dos alunos. A partir dos materiais disponibilizados no ambiente Moodle<sup>3</sup>, o aluno ao acessar o AV, tem acesso aos slides do curso, pode responder a questionários disponíveis nas carteiras virtuais e criar modelos UML, por meio da integração com a ferramenta GenMyModel, conforme mostra a Figura 1.

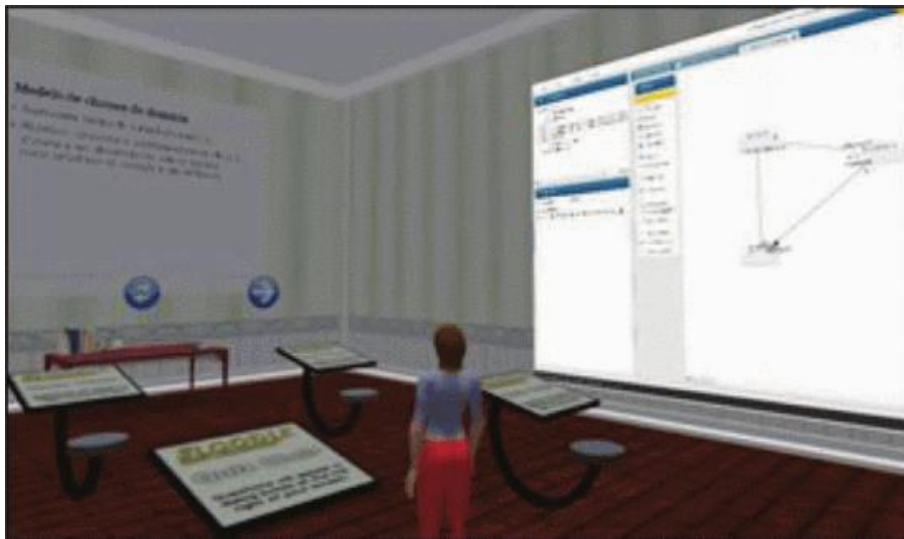
WANG & ZHU (2009) desenvolveram um jogo, baseado no Second Life<sup>4</sup>, para auxiliar no ensino de processos de desenvolvimento de software. Sua principal diferença em relação ao SimSE (NAVARRO & VAN DER HOEK, 2004) é permitir que mais

---

<sup>3</sup> Moodle é uma plataforma de aprendizagem a distância baseada em software livre (SABBATINI, 2007).

<sup>4</sup> Second Life é um ambiente interativo 3D focado em relações sociais entre usuário por meio de avatares (VALENTE & NETO, 2007).

jogadores possam interagir simultaneamente e compreender melhor sobre a abordagem de desenvolvimento baseada em prototipação por meio de um MV. O jogo fornece seis funções de um engenheiro de software. Todos os jogadores formarão uma equipe de desenvolvimento de software e, durante o jogo, poderão interagir entre si através de vários meios de comunicação fornecidos no SL. Uma pontuação da equipe será dada ao final se a equipe puder entregar o produto antes do prazo. Para obter a boa pontuação, todos os jogadores precisam não apenas trabalhar por conta própria, mas também trabalhar colaborativamente.



*Figura 1. 3DVLE proposto por HERPICH et al. (2014)*

Enquanto o jogo desenvolvido por WANG & ZHU (2009) simula um processo baseado em prototipação, RODRIGUEZ *et al.* (2015) apresentam o desenvolvimento do Virtual Scrum, uma ferramenta para enriquecer a experiência de aprendizado em um curso de Scrum. Como metodologia de ensino, um professor desempenha o papel de *Product Owner*, enquanto os alunos desempenham o papel de *Scrum Master* e *Scrum Team*. O papel do *Scrum Master* é atribuído a um aluno com o conhecimento mais avançado em métodos ágeis, a fim de preservar o princípio da auto-organização deste método ágil. No Virtual Scrum, os alunos usam avatares para se comunicar através de gestos, sons, ícones, texto etc., bem como manipular elementos na sala modelada do Scrum. A sala da equipe, equipada com os artefatos e regras do Scrum, é crucial para engajar os alunos, passando por uma experiência imersiva, e propiciando o trabalho colaborativo e melhorando a compreensão desta metodologia ágil. A Figura 2 mostra os jogadores interagindo com o Planning Poker virtual, com o objetivo de estimar pontos para cada história do cliente.



Figura 2. Avatares interagindo com o Planning Poker virtual (RODRIGUEZ *et al.*, 2015)

Do ponto de vista da análise e *design* de software, INAYAT *et al.* (2016) desenvolveram um jogo para apoiar a compreensão de conceitos sobre análise de *design* de acordo com o paradigma de orientação a objetos, denominado OOAD-Game. Este jogo consiste em várias situações para o jogador selecionar, tais como sala de reuniões, sala de desenvolvimento, área de lazer, dentre outros, como mostrado na Figura 3. Por meio de uma interface tridimensional e online, o jogo permite que o jogador interaja com outros avatares para coletar requisitos, definir objetivos do projeto e definir marcos futuros, bem como verificar o progresso do projeto. Durante as aulas, os alunos podem realizar o login, abrir seus projetos e interagir com outros membros do grupo em diferentes funções, visualizar conversas e registros anteriores, verificar seu progresso e também consultar material de ajuda.

## 2.6. Considerações Finais

Preparar engenheiros de software é uma tarefa complexa que a maioria das universidades tem demonstrado esforços para realizar. Essa tarefa deve não apenas transferir conhecimento sobre os conceitos centrais da ES, mas também permitir que os alunos se tornem aprendizes ao longo da vida, capazes de acompanhar as inovações da área (BEGEL & SIMON, 2008). Neste sentido, abordagens que permitem o engajamento e motivação dos alunos são utilizadas para impactar na melhoria dos resultados de aprendizagem de ES.

Este capítulo teve como objetivo principal apresentar o estado da arte da EES, sob o ponto de vista das abordagens PBL, PrBL, GBL e 3DVLE, das quais têm sido amplamente adotadas para mudar e apoiar a dinâmica do ensino de ES, a fim de proporcionar aos alunos experiências que se aproximam de tarefas triviais de um engenheiro de software.



*Figura 3. Ambientes do OOAD-Game*

As abordagens PBL e PrBL são estratégias flexíveis que podem ser ajustadas para tirar proveito das capacidades e interesses dos alunos, bem como a dos educadores também. Essas abordagens não impõem muitas restrições ou exigem capacidades especiais dos instrutores. Segundo MARQUES *et al.* (2014), essa pode ser uma razão pela qual essas alternativas são frequentemente usadas para apoiar experiências práticas de ES. Analisando os exemplos da utilização dos métodos PBL e PrBL à EES, nota-se que ambas abordagens são aplicadas com foco na mudança de paradigma das aulas, as quais em grande parte são expositivas e centradas excessivamente no professor. Através destas duas abordagens, o aluno é colocado no centro do processo de ensino e aprendizagem e as atividades de aprendizado se aproximam com atividades reais de um engenheiro de software, sendo a principais a solução de problemas e o trabalho em equipe em projetos de desenvolvimento de software.

Com relação a GBL, esta abordagem confere uma variedade de impactos e resultados perceptivos, cognitivos, comportamentais, afetivos e motivacionais (HAINNEY *et al.*, 2011). Desta forma, pesquisadores e educadores têm investigado o uso desta abordagem com a intenção de envolver os alunos a experimentarem as práticas profissionais de ES, de forma que possam entender quais práticas e técnicas são úteis em várias situações diferentes, uma vez que a natureza das tarefas e projetos propostos em sala de aula são limitados em tempo e escopo, aumentando o desafio de encontrar um bom equilíbrio entre teoria e prática. O ensino de ES por meio de GBL motivam e engajam o aluno por meio das dinâmicas e tarefas lúdicas que os jogos proporcionam (MARQUES *et al.*, 2014).

Independente das abordagens PBL, PrBL e GBL, a maioria dos trabalhos são viabilizados por um software educacional. Sob este ponto de vista, grande parte destes softwares educacionais são protótipos acadêmicos que não são disponibilizados para a comunidade, a fim de serem utilizados em prática nas aulas de ES.

Além disso, na perspectiva da utilização de 3DVLE no auxílio de ES, as principais características destes ambientes destacam-se em facilitar a comunicação, simular ambientes comuns no desenvolvimento de software, bem como proporcionar a interação com artefatos de software. Ao analisar o potencial da visualização 3D em MVs, as abordagens não exploram formas alternativas de visualização e interação com artefatos de software, os quais em sua grande parte são complexos e difíceis de serem compreendidos. Por exemplo, em (HERPICH *et al.*, 2014), o avatar interage com diagramas UML, nos quais possuem a mesma representação bidimensional em ferramentas tradicionais de ES. Com recursos da visualização 3D, estes diagramas poderiam apresentar informações adicionais, tais como métricas de acoplamento e coesão, ao acrescentar uma profundidade (terceira dimensão) em cada classe do diagrama UML. Além disso, vários tipos de digramas UML podem ser visualizados ao mesmo tempo, com o intuito de explicitar a rastreabilidade de uma entidade de software, no qual é documentada em diferentes perspectivas. Em relação à interação entre usuário e MV, as propostas utilizam dispositivos tradicionais (*e.g.*, teclado, *mouse* e monitor), restringindo novas formas de interação que podem ser viabilizadas por meio de dispositivos imersivos. Através de visualizações imersivas em 360° e interação por meio de gestos, por exemplo, o usuário sente-se mais presente no MV, aumentando o senso de

presença e impactando no engajamento durante o processo de aprendizado (DUNLEAVY *et al.*, 2009).

Embora PBL, PrBL, GBL tenham contribuições à EES, alguns educadores ainda possuem resistência na mudança de sua didática, razão pelo qual seja, possivelmente, pela escassez de materiais que possam orientar na aplicação destas abordagens, de acordo as diversas áreas da ES, como por exemplo o SWEBOK (2017). Especificamente para 3DVLE, os trabalhos, além de serem protótipos acadêmicos, são abordagens isoladas, o que dificulta na escolha de uma aplicação imersiva que atenda aos objetivos de ensino (*e.g.*, ensinar elicitación de requisitos, análise e *design*, qualidade de software, dentre outros) e que sejam compatíveis com os dispositivos tradicionais e imersivos a serem utilizados pelo professor ou pelo aluno.

Desta forma, considerando os aspectos apresentados acima, esta proposta de tese visa contribuir para a melhoria dos resultados de aprendizagem de ES por meio de experiências imersivas, que sejam proporcionadas através de aplicações educacionais imersivas hospedadas em uma plataforma central, além de propor um *framework* que auxilie no desenvolvimento destas aplicações, de maneira que combine três aspectos essenciais: desenvolvimento de competências e habilidades de um engenheiro de software; as principais abordagens pedagógicas (*e.g.*, PBL, PrBL e GBL) e os atributos das tecnologias imersivas (*e.g.*, visualização imersiva, interação por gestos, *feedback* tátil, dentre outros).

## Capítulo 3 – Revisão Rápida sobre Educação Imersiva

### 3.1. Introdução

A comunidade de pesquisa em ES há muito tempo reconhece o papel dos métodos empíricos. Desde então, as Revisões Sistemáticas (RSs) se tornaram um dos produtos mais conhecidos da Engenharia de Software Baseada em Evidências (ESBE) (BUDGEN *et al.*, 2006). No entanto, uma das questões críticas está relacionada ao tempo e esforço necessários para a realização de RSs, levando de meses a um ano (ou até mais), além de exigir um esforço conjunto de muitos pesquisadores. Esse árduo esforço colaborativo, embora inestimável para a aquisição de evidências, dificilmente é aceitável para aqueles que exigem respostas empíricas em tempo hábil, o que geralmente é o caso dos engenheiros de software da indústria (CARTAXO *et al.*, 2018).

Essa preocupação refere-se não apenas à comunidade de SE, já que a área da medicina também enfrentou desafio semelhante (BEST *et al.*, 1997). Uma das iniciativas de mitigação mais bem-sucedidas é chamado de Revisão Rápida (do inglês, *Rapid Review - RR*) (TRICCO, ANTONY, *et al.*, 2015). Estes estudos secundários destinam-se a fornecer evidências para apoiar a tomada de decisão. As RRs são realizadas em prazos mais adequados a atender às demandas dos profissionais (em semanas ou em um mês, em vez de longos períodos) e exigem o envolvimento de poucos, às vezes apenas um pesquisador, reduzindo tempo e custos para fornecer evidências. Embora as RRs sejam um método crescente de pesquisa na área médica, este tipo de estudo secundário é pouco conhecido pela comunidade de ES (CARTAXO *et al.*, 2019).

No entanto, considerando as vantagens deste tipo de estudo, este capítulo tem a finalidade de apresentar o protocolo de uma RR sobre iE. Seu propósito é caracterizar a área de iE, fornecendo evidências quanto ao histórico de publicação; os domínios de aplicação que utilizaram tecnologias para apoiar o processo de ensino e aprendizagem; as teorias e abordagens pedagógicas que fundamentaram as propostas e/ou aplicações imersivas; quais contribuições foram realizadas, do ponto de vista de aplicações imersivas ou métodos para apoiar o desenvolvimento ou seleção de aplicações; os dispositivos utilizados; bem como os principais indicadores utilizados para validar a aplicação e/ou a melhoria dos resultados de aprendizagem de ES.



O restante deste capítulo está organizado da seguinte forma: a Seção 3.2 apresenta o contexto, bem como a motivação para a realização do estudo secundário; a Seção 3.3 descreve os objetivos e questões de pesquisa, os quais vão nortear as evidências desta RR; na Seção 3.4, é discriminada a estratégia de seleção, descrevendo as fontes de busca, artigos de controle, *string* de busca, o procedimento de seleção envolvendo os critérios de inclusão, bem como o procedimento para extração e síntese dos dados; na Seção 3.5, são apresentados o resumo, do ponto de vista quantitativo dos estudos primários da RR; a Seção 3.6 realiza a análise e discussão dos achados e; por fim, a Seção 3.7 finaliza este capítulo com as considerações finais.

## **3.2. Contexto**

Ao longo dos anos, com o crescente estudo das tecnologias imersivas aplicadas ao ensino, iE surgiu como uma nova área de pesquisa focada na investigação de métodos inovadores de imersão, engajamento e de motivação que contribuem para o ganho de aprendizado (DE FREITAS & NEUMANN, 2009).

No entanto, iE, também conhecida como iL, pode se referir ao uso de tecnologias imersivas como método de apoio ao ensino (DE FREITAS & NEUMANN, 2009), bem como um método de ensino, no qual o conteúdo instrucional é encapsulado na língua estrangeira, permitindo a aprendizagem do conteúdo através do idioma estrangeiro (JOHNSON & SWAIN, 1997). Neste cenário, a imersão está relacionada com o grau de inserção da língua estrangeira durante a aprendizagem, independente de qual meio é utilizado. Desta maneira, há uma ambiguidade no uso destes termos na literatura técnica, porém o enfoque deste trabalho é na utilização de tecnologias imersivas como apoio ao ensino.

Sendo assim, iE está relacionada ao uso de tecnologias, especialmente computação gráfica e tecnologias de interação humano-computador, para criar MVs, nos quais a aprendizagem pode ocorrer empregando-se abordagens instrucionais e pedagógicas apropriadas (FREITAS & NEUMANN, 2009; HERRINGTON *et al.*, 2007; SCHREIBER & MISIAK, 2018). Em outras palavras, iE consiste em uma modalidade educacional, cujos processos de ensino e de aprendizagem ocorrem em ambientes gráficos 3D, criados a partir do uso de diferentes tecnologias, nos quais os alunos participam de forma imersiva. Portanto, iE propicia aprendizagens por meio do desenvolvimento de experiências com tecnologias imersivas. Apesar da utilização das

tecnologias imersivas como apoio nos processos de ensino e aprendizagem, pouca pesquisa tem sido conduzida para compreender melhor os aspectos teóricos e tecnológicos relacionados com esta recente área de pesquisa (DENGEL & MÄGDEFRAU, 2018).

Portanto, este trabalho tem como objetivo executar uma RR com enfoque na análise de estudos primários, os quais utilizam tecnologias imersivas como principal método de apoio ao processo de ensino e aprendizagem e obter evidências quanto aos aspectos teóricos e tecnológicos relacionados com iE. Optou-se por este método de revisão da literatura, pois é uma forma de síntese do conhecimento em que os componentes do processo de Revisões Sistemáticas (RS) são simplificados ou omitidos para produzir informações de forma oportuna, rápida e não custosa (TRICCO *et al.*, 2015).

### 3.3. Objetivo e Questões de Pesquisa

Conforme dito anteriormente, o principal objetivo desta RR é *obter o estado da arte da pesquisa em iE*. Este estudo secundário irá se concentrar na identificação de estudos primários que reportam o uso de tecnologias imersivas como instrumento de apoio ao processo de ensino e aprendizagem de diversos domínios de aplicação. Além disso, esta RR propõe obter uma visão geral dos aspectos teóricos da iE, as tecnologias utilizadas, bem como indicadores utilizados na validação dos estudos. Desta forma, a questão central de pesquisa desta RR é: *Quais evidências empíricas existem sobre Educação Imersiva?*

As seguintes questões específicas de pesquisa foram definidas, a fim de ajudar na coleta das informações necessárias e na obtenção de uma visão geral do estado da arte da pesquisa em iE:

- **QP1:** Quando e onde têm sido publicados os estudos primários?
  - **Justificativa:** é importante observar em quais veículos de publicação os trabalhos primários têm sido divulgados e como a área tem evoluído ao longo dos anos.
- **QP2:** Quais são os tipos de contribuições dos estudos primários?
  - **Justificativa:** pretende-se obter a frequência de estudos que propõem alguma aplicação imersiva, *frameworks*, *guidelines* ou métodos de apoio ao desenvolvimento das soluções tecnológicas.

- **QP3:** Quais são as áreas de contribuição dos estudos primários?
  - **Justificativa:** identificar os domínios de aplicação que fazem uso da iE, tais como matemática, medicina, STEAM (Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática), e obter a frequência de tais domínios.
- **QP4:** Quais são as teorias ou abordagens pedagógicas que fundamentam os estudos primários?
  - **Justificativa:** obter evidências de quais são as teorias ou abordagens pedagógicas que fundamentam as soluções propostas.
- **QP5:** Quais são os dispositivos de interação humano-computador utilizados nos estudos primários?
  - **Justificativa:** entender quais são os dispositivos imersivos utilizados pelos estudos primários.
- **QP6:** Quais os indicadores adotados para a coleta e análise dos dados?
  - **Justificativa:** obter evidências de quais são os indicadores utilizados para validar as soluções propostas.

### 3.4. Estratégia de Pesquisa

#### 3.4.1. Fontes de Busca

Como estratégia de busca dos estudos primários foi definida a busca automática em uma base eletrônica de busca. Adotou-se o Scopus<sup>5</sup> como máquina de busca principal dos estudos primários.

De forma complementar, o procedimento de *Snowballing* foi aplicado após a estratégia de busca automática. Esta técnica complementa revisões da literatura por fornecer sistematicamente uma maneira de obter um conjunto de estudos primários relevantes, sem a necessidade de utilizar diversas bases de dados (WOHLIN, 2014). O procedimento foi aplicado nos artigos mais citados e aceitos para extração dos dados. Forem considerados artigos mais citados os estudos primários que possuem o número de citações maior ou igual à média das citações dos artigos aceitos para extração. Tanto *forward snowballing* quanto *backward snowballing* foram aplicados com o apoio da

---

<sup>5</sup> <https://www.scopus.com>

Scopus como ferramenta para identificar outras referências. Os procedimentos foram realizados aplicando a busca em apenas um nível.

### 3.4.2. Artigos de Controle

É essencial para o sucesso do estudo que se tenha disponível um conjunto de estudos primários, os quais devem ser retornados a partir da condução da revisão. Este conjunto, também denominado grupo de controle, pode ser criado por meio de uma revisão informal, realizada antes da revisão, e/ou por meio da sugestão de especialistas da área (NAKAGAWA, 2017).

A fim de avaliar a qualidade deste protocolo, primeiramente, definiu-se o grupo de controle com estudos primários, os quais são apresentados a seguir. Estes estudos primários foram identificados por meio de revisão *ad-hoc* da literatura. São eles:

- Bhattacharjee, D., Paul, A., Kim, J. H., & Karthigaikumar, P. (2018). An immersive learning model using evolutionary learning. *Computers & Electrical Engineering*, 65, pp. 236-249.
- Dengel, A., & Mägdefrau, J. (2018). Immersive learning explored: subjective and objective factors influencing learning outcomes in immersive educational virtual environments. In 2018 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE). pp. 608-615.
- Fernandes, F., & Werner, C. (2019). Towards Immersive Learning in Object-Oriented Paradigm: A Preliminary Study. In 2019 21st Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR). pp. 59-68.

### 3.4.3. String de Busca

A estrutura PICO foi utilizada, a fim de conceber a *string* de busca que foi executada na máquina de busca Scopus.

- **População:** *education*;
  - Sinônimos: (“*education*” OR “*learning*” OR “*training*” OR “*teaching*”);
- **Intervenção:** *immersive technologies*
  - Sinônimos: (“*immersive technology*” OR “*virtual reality*” OR “*augmented reality*” OR “*mixed reality*”);
- **Comparação:** não se aplica;
- **Resultados:** *immersive learning*;

- Sinônimos: (“immersive learning” OR “immersive education” OR “immersive training” OR “immersive teaching” OR “immersive course” OR “immersive tutoring” OR “immersive discipline” OR “immersion learning” OR “immersion education” OR “immersion training” OR “immersion teaching” OR “immersion course” OR “immersion tutoring” OR “immersion discipline”).

Estudos primários foram limitados ao período de 2019 a 2015 (últimos 5 anos).

Estudos primários dos domínios de Aprendizagem de Máquina e Terapia foram desconsiderados.

A Tabela 1 apresenta a *string* de busca utilizada na base Scopus para encontrar estudos primários de acordo com a estrutura PICO definida acima.

*Tabela 1. String de busca utilizada na base Scopus*

```
TITLE-ABS-KEY ( "education" OR "learning" OR
"training" OR "teaching" ) AND TITLE-ABS-KEY (
"immersive technology" OR "virtual reality" OR
"augmented reality" OR "mixed reality" ) AND TITLE-
ABS-KEY ( "immersive learning" OR "immersive
education" OR "immersive training" OR "immersive
teaching" OR "immersive course" OR "immersive
tutoring" OR "immersive discipline" OR "immersion
learning" OR "immersion education" OR "immersion
training" OR "immersion teaching" OR "immersion
course" OR "immersion tutoring" OR "immersion
discipline") AND NOT TITLE-ABS-KEY ( "machine
learning" OR "deep learning" OR "artificial
intelligence" OR "neural network" ) AND NOT TITLE-
ABS-KEY ( "therapy" OR "rehabilitation" )
```

#### 3.4.4. Procedimento de Seleção

Um pesquisador realizou os seguintes procedimentos:

1. Executar a *string* de busca:
  - a. Aplicar os critérios de inclusão e exclusão com base no título do estudo primário;
  - b. Aplicar os critérios de inclusão e exclusão com base no resumo do estudo primário;
  - c. Aplicar os critérios de inclusão e exclusão com base no texto completo do estudo primário.

2. Após a finalização da seleção dos estudos primários na máquina de busca, foram incluídos estudos primários aplicando a seguinte regra:
  - a. Executar *forward snowballing* e *backward snowballing* (um nível):
    - i. Aplicar os critérios de inclusão e exclusão com base no título do estudo primário;
    - ii. Aplicar os critérios de inclusão e exclusão com base no resumo do estudo primário;
    - iii. Aplicar os critérios de inclusão e exclusão com base no texto completo do estudo primário.

A ferramenta StArt<sup>6</sup> foi utilizada para gerenciar os artigos identificados e apoiar o procedimento de seleção dos artigos e disseminação de dados.

#### **3.4.5. Critérios de Inclusão**

- O artigo deve estar no contexto de ensino e aprendizagem;
- O artigo deve ser primário;
- O estudo primário deve propor um software que apoie o processo de ensino e aprendizagem ou treinamento por meio de tecnologias imersivas ou *frameworks*, *guidelines* e métodos que apoiem o desenvolvimento ou a seleção de aplicações educacionais imersivas desenvolvidas por terceiros;
- O estudo primário deve fornecer dados para responder pelo menos a uma questão de pesquisa da RR;
- O estudo primário deve estar escrito no idioma inglês.

#### **3.4.6. Critérios de Exclusão**

- Artigo indisponível para leitura;
- Artigo duplicado;
- Artigo não relacionado com tecnologias imersivas na educação.

#### **3.4.7. Procedimento de Extração**

---

<sup>6</sup> [http://lapes.dc.ufscar.br/tools/start\\_tool](http://lapes.dc.ufscar.br/tools/start_tool)

Para cada estratégia de busca de estudos primários (Scopus e *Snowballing*), o procedimento de extração foi realizado por um pesquisador, usando o formulário apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Formulário de extração de dados

<paper_id>:<paper_reference>	
Resumo	Resumo de estudo
Descrição	Uma breve descrição dos objetivos e entendimento do estudo
Tipo de Estudo	Extraído a partir da fonte como descrito no estudo
QP1: Quando e onde têm sido publicados os estudos primários?	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ano em que o estudo primário foi publicado;</li> <li>Local onde o estudo primário foi publicado.</li> </ul>
QP2: Quais são os tipos de contribuições dos estudos primários?	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extração da informação se o estudo primário propôs o desenvolvimento de alguma aplicação imersiva ou <i>framework</i>, <i>guideline</i> ou método para apoiar o desenvolvimento e/ou seleção de aplicações educacionais imersivas.</li> </ul>
QP3: Quais são as áreas de contribuição dos estudos primários?	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extração das áreas que receberam contribuição das propostas desenvolvidas relatadas nos estudos primários.</li> </ul>
QP4: Quais são as teorias ou abordagens pedagógicas que fundamentam os estudos primários?	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extração das teorias e/ou abordagens pedagógicas que fundamentaram as propostas.</li> </ul>
QP5: Quais são os dispositivos de interação humano-computador utilizados nos estudos primários?	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extração dos dispositivos imersivos utilizados.</li> </ul>
QP6: Quais os indicadores adotados para a coleta e análise dos dados?	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extração de indicadores utilizados para validarem as propostas.</li> </ul>

### 3.4.8. Procedimento de Síntese

A síntese é geralmente realizada por meio de uma narrativa concisa ou uma análise temática quando um número de artigos selecionados não está alto (CARTAXO *et al.*, 2018). Contudo, nesta RR, adotou-se o formulário de extração (Tabela 2), no qual fornece uma forma resumida de representar os dados extraídos.

### 3.5. Execução da Revisão

### 3.5.1. Resumo dos dados de Execução

- Data de execução da *string* de busca na Scopus: 03/02/2020
- Número de artigos retornados - Scopus: 177
- Aplicação dos critérios de inclusão - Scopus:
  - Número de artigos excluídos: 87
  - Número de artigos selecionados: 90
- Aplicação dos critérios de inclusão – *Snowballing*:
  - Número de artigos selecionados por *forward*: 49
  - Número de artigos selecionados por *backward*: 64
- Artigos lidos por completo e aceitos para extração de dados:
  - Scopus: 90
  - *Snowballing*: 34
- Total de artigos selecionados: 124

### 3.5.2. Conjunto final de artigos

De acordo com a Seção 3.4.7, os dados extraídos foram tabulados, conforme o modelo da Tabela 2, e estão disponíveis para acesso através de uma URL<sup>7</sup>.

Uma lista para consulta rápida dos estudos primários retornados da base Scopus considerados para extração de dados são apresentados no Anexo I.

De acordo com a Seção 3.4.1, o *Snowballing* foi aplicado aos estudos primários considerados mais citados, ou seja, estudos que apresentam o número de citações maior ou igual à média de citações de todos estudos primários da base Scopus. Desta forma, os estudos com citações maior ou igual a 3,24 foram selecionados para a realização do *Snowballing*, os quais são apresentados na Tabela 3. A partir destes estudos mais citados, os estudos primários do *Snowballing* considerados para extração de dados foram selecionados e uma lista para consulta rápida está disponível no Anexo II.

## 3.6. Análise e Resultados

---

<sup>7</sup> <http://reuse.cos.ufrj.br/media/publicacoes/qualificacao/~ffernandes/RRdadosExtraidos.pdf>



Esta seção tem como objetivo apresentar os resultados da análise realizada dos estudos primários aceitos para extração dos dados, a fim de responder as questões de pesquisa definidas neste trabalho.

*Tabela 3. Número de citações dos artigos mais relevantes da base Scopus*

<b>Artigos</b>	<b>Número de citações</b>
SC50	44
SC04	31
SC68	26
SC46	24
SC32	22
SC45	7
SC19	6
SC60	6
SC77	6
SC09	5
SC06	5
SC30	5
SC54	5
SC66	5
SC78	4
SC51	4
SC53	4
SC05	4
SC37	4
SC63	4
SC59	4
SC87	4
SC43	4
SC48	4
SC89	4
SC13	4
SC83	4

### **3.6.1. QP1: Quando e onde têm sido publicados os estudos primários?**

Ao final da aplicação dos critérios de inclusão apresentados na Seção 3.4.4, foram selecionados para extração de dados 90 e 34 estudos primários a partir da base Scopus e *snowballing*, respectivamente. Sendo assim, 124 estudos primários foram analisados. A Figura 4 demonstra a representatividade dos estudos, sendo 73% da base Scopus e 27%

identificados por meio de *snowballing*, a partir dos estudos mais citados, conforme descrito na Seção 3.4.1.

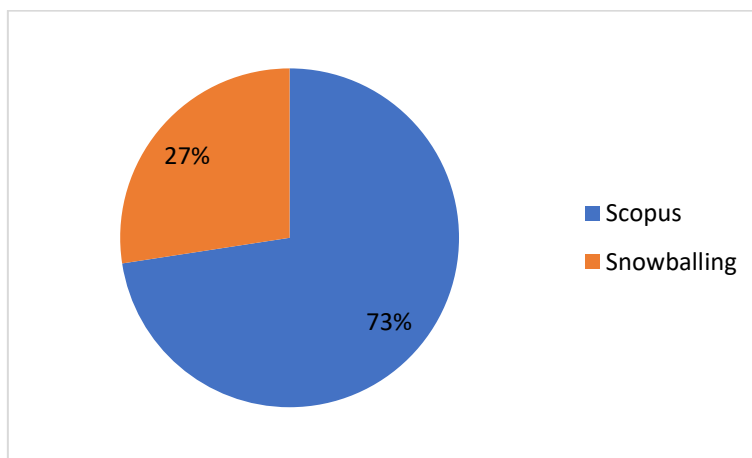


Figura 4. Distribuição dos estudos primários por estratégia de busca

A partir dos estudos selecionados por diferentes estratégias, a Figura 5 apresenta o conjunto final dos estudos primários selecionados a partir da base Scopus distribuídos por ano de publicação, enquanto a Figura 6 apresenta os artigos selecionados a partir do *snowballing*, de acordo com os critérios estabelecidos na Seção 3.4.4, também distribuídos por ano de publicação. Vale ressaltar, de acordo com os critérios estabelecidos na Seção 3.4.3, foram selecionados estudos dos últimos cinco anos a partir da base Scopus.

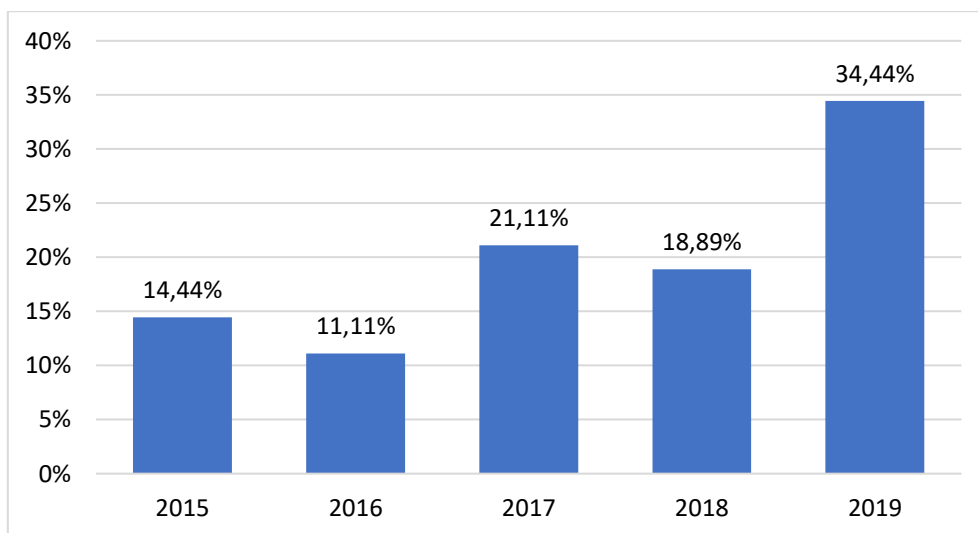
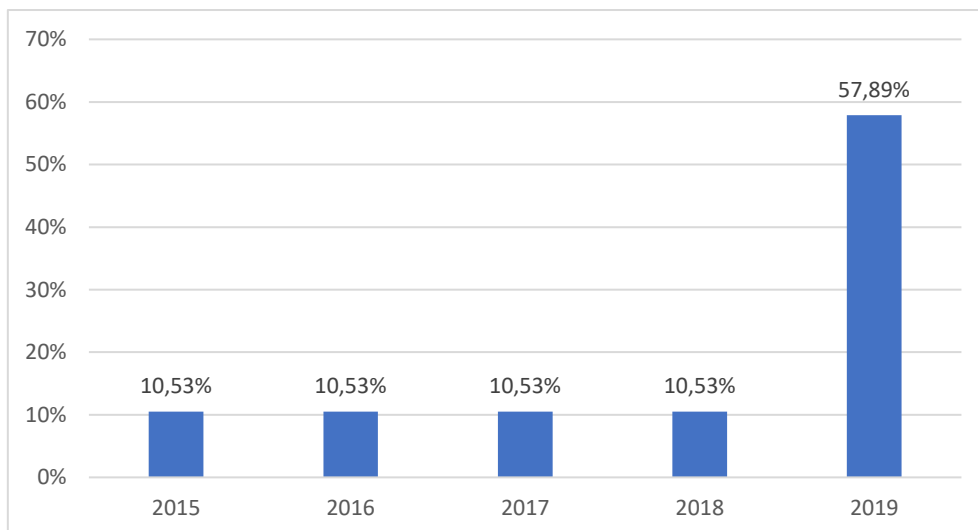
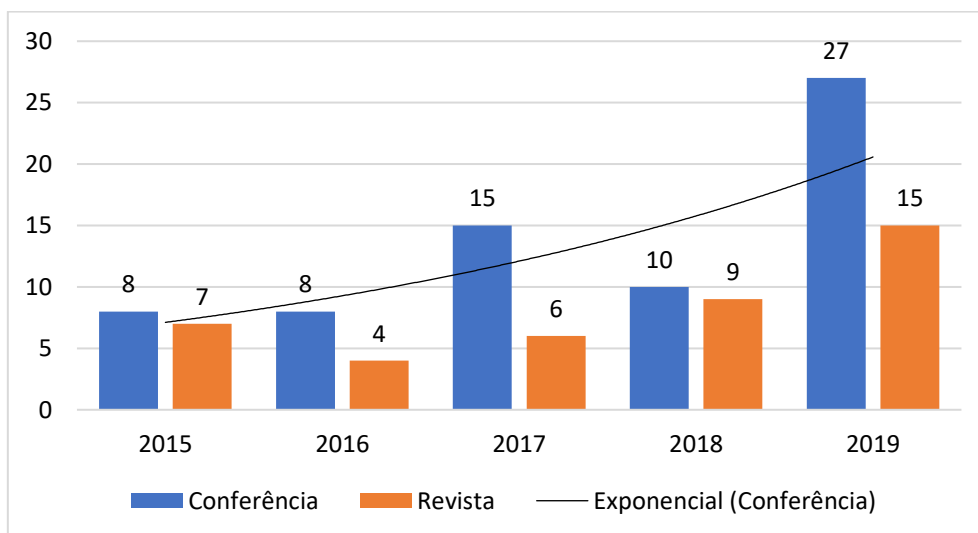


Figura 5. Distribuição dos estudos primários do Scopus por ano de publicação



*Figura 6. Distribuição dos estudos primários do Snowballing por ano de publicação*

Nota-se na Figura 5 e Figura 6, um número elevado de publicações no ano de 2019. Da base Scopus corresponde a 31 e do *snowballing* corresponde a 11 estudos primários. Ao realizar a análise do ponto de vista do histórico de publicações por tipo de veículos de publicação, pode ser observado que, não somente em 2019, mas no período de 2015 a 2019, há uma tendência na quantidade de publicações em conferências ser superior ao de revistas, conforme mostra a Figura 7. Isto pode ser explicado pelo fato de que o processo de revisão e publicação leve mais tempo em revistas científicas do que em conferências.



*Figura 7. Distribuição de estudos primários por tipos de veículos de publicação*

A partir do conjunto final dos estudos, pôde-se identificar quais são os veículos de publicação considerados para a divulgação dos trabalhos. A Tabela 4 e Tabela 5

mostram a lista de conferências e revistas, respectivamente. No total, são 82 veículos de publicação, sendo 49 conferências e 33 revistas científicas. A Figura 8 mostra esta representatividade em relação ao conjunto final de estudos primários.

*Tabela 4. Lista de Conferências*

<b>Conferências</b>	<b>Qtd. publicações</b>
Communications in Computer and Information Science	6
IEEE Virtual Reality	4
IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces	3
IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering	3
International Conference on Advanced Learning Technologies	2
International Conference on Human-Computer Interaction	2
International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications	2
Symposium on Virtual and Augmented Reality	2
ACM International Conference on Multimodal Interaction	1
ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual Reality Continuum and its Applications in Industry	1
ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology	1
Advances in Intelligent Systems and Computing	1
AISTech - Iron and Steel Technology Conference Proceedings	1
Computer Science and Electronic Engineering Conference	1
European Conference on Modelling and Simulation	1
Frontiers in Education Conference	1
IEEE Global Engineering Education Conference	1
IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics	1
IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality	1
IEEE World Engineering Education Conference: Modern Educational Paradigms for Computer and Engineering Career	1
International Conference of Innovation, Practice and Research in the Use of Educational Technologies in Tertiary Education	1
International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics	1
International Conference on Cognition and Exploratory Learning in the Digital Age	1
International Conference on Collaboration Technologies and Systems	1
International Conference on Computer Science and Educational Informatization	1
International Conference on Data Intelligence and Security	1
International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training	1
International Conference on Robots and Intelligent System	1
International Conference on System Science and Engineering	1
International Conference on Technology for Education	1
International Conference on Virtual, Augmented and Mixed Reality	1
International Conference on Web-Based Learning	1
International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging	1
International Symposium on Educational Technology	1
International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering	1
IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	1
IST-Africa Week Conference	1
Journal of Physics: Conference Series	1

Latin American Computing Conference	1
Pacific Neighborhood Consortium Annual Conference and Joint Meetings: Data Informed Society	1
Procedia Computer Science	1
Proceedings ACM SIGUCCS User Services Conference	1
Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology	1
Proceedings of the International Conference on Sensing Technology	1
Proceedings of the International ISCRAM Conference	1
Proceedings of the International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc)	1
Smart Innovation, Systems and Technologies	1
The International Society for Optical Engineering	1
VS-Games 2015 - 7th International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications	1

*Tabela 5. Lista de revistas científicas*

<b>Revistas científicas</b>	<b>Qtd. publicações</b>
Computers and Education	3
British Journal of Educational Technology	3
Computers in Human Behavior	2
Virtual Reality	3
Applied Sciences (Switzerland)	2
IEEE Transactions on Learning Technologies	2
Interactive Learning Environments	2
Visual Computer	2
Journal of Computer Assisted Learning	1
Academic Emergency Medicine	1
ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology	1
Australasian Journal of Educational Technology	1
Computers and Electrical Engineering	1
Computers in Education Journal	1
European Journal of Vascular and Endovascular Surgery	1
Fusion Engineering and Design	1
IEEE Systems Journal	1
International Journal of Construction Education and Research	1
International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems	1
Journal of Healthcare Engineering	1
Journal of Teaching in Travel and Tourism	1
Journal of the American College of Radiology	1
Journal of Visual Communication and Image Representation	1
Mobile Information Systems	1
Nurse Education Today	1
Open Physics	1
Procedia Manufacturing	1
Process Safety Progress	1
Sensors (Switzerland)	1
Simulation and Gaming	1
TechTrends	1
UPB Scientific Bulletin, Series C: Electrical Engineering and Computer Science	1
Western Journal of Emergency Medicine	1

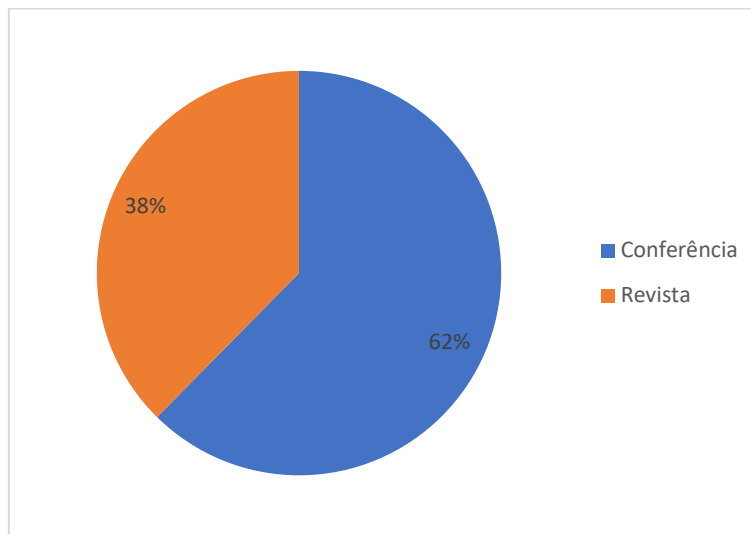


Figura 8. Representatividade dos estudos primários por tipo de veículos de publicação

### 3.6.2. QP2: Quais são os tipos de contribuições dos estudos primários?

Procura-se identificar a partir desta questão de pesquisa quais são os tipos de contribuições para a área de iE descritos nos estudos primários. Grande parte destes relatam o projeto, implementação e avaliação de aplicações imersivas para apoiar o ensino de alguma área do conhecimento, bem como o treinamento de habilidades, tais como dança (SN03 e SN13) e treinamento militar (SN07), dentre outros. Por outro lado, há estudos primários que propuseram uma forma de orientar o desenvolvimento de aplicações educacionais imersivas, tais como SC35 e SC43. Isto se dá pelo fato de que existem diversos conceitos abstratos e subjetivos envolvidos, como por exemplo imersão, senso de presença, engajamento, dos quais ainda não há um consenso na literatura técnica sobre suas definições e como mensurá-los. Além disso, há uma gama de abordagens pedagógicas (*e.g.*, aprendizagem baseada em jogos, construtivismo, educação experiencial etc.) e dispositivos imersivos (*e.g.*, Oculus Rift, HTC Vive, dentre outros) que podem ser considerados no desenvolvimento das aplicações imersivas.

A Figura 9 apresenta a distribuição dos tipos de contribuições dos estudos primários. Estudos que relatam sobre o desenvolvimento ou utilização de uma aplicação educacional imersiva correspondem a 102. Alguns destes realizaram experimentos com o intuito de demonstrar a eficácia, usabilidade ou desempenho da ferramenta e a experiência e percepção do usuário, dentre outros indicadores. A minoria dos estudos não

apresentou uma forma de validar a aplicabilidade da ferramenta. Já 8 estudos apresentaram um método para apoiar o desenvolvimento e/ou seleção de aplicação imersiva para apoiar o ensino (SC06, SC23, SC24, SC34, SC38, SC48 e SC77).

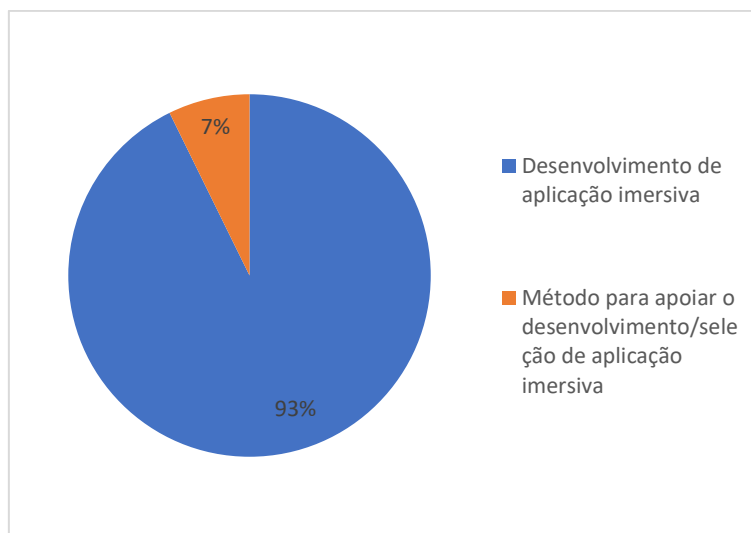


Figura 9. Representatividade dos estudos primários por tipo de contribuição

Em SC06, foi apresentado um modelo educacional usando RV em uma plataforma móvel, personalizando os ambientes simulados conforme as ações do usuário. O principal objetivo do estudo é criar um mecanismo de aprendizado personalizado para cada aluno de acordo com suas capacidades e habilidades e tornar o aprendizado imersivo eficiente.

Já em SC24 propuseram um *framework* educacional para aprendizagem imersiva, partindo do princípio de que o senso de presença é um estado psicológico que influencia a aprendizagem em ambientes virtuais e imersivos. Este senso de presença é influenciado por fatores objetivos e subjetivos. Baseado no trabalho de HELMKE & WEINERT (1997), desenvolveu-se um modelo, denominado *Framework* Educacional para Aprendizagem Imersiva (do inglês, *Educational Framework for Immersive Learning - EFiL*) que inclui os fatores de presença, imersão, habilidades cognitivas, motivação e emoção, a fim de observar o ganho de aprendizagem de acordo com a relação entre os fatores objetivos e subjetivos. Os mesmos autores em SC23 relatam o uso do EFiL em três aplicações educacionais imersivas, com o objetivo de validar a hipótese de os fatores imersão, emoção e habilidades cognitivas serem preditores de presença.

Sob um ponto de vista mais técnico, o estudo SC34 relata o desenvolvimento de um *framework* envolvendo dispositivos imersivos com interações comuns de RV e

dispositivos hápticos. O *framework* enfatiza a importância dos princípios de Engenharia de Sistemas Centrados em Informação (ISCI), no qual destaca-se uma abordagem centrada no usuário, além de formalizar o entendimento de assuntos para os quais os ambientes de aprendizagem estão sendo criados.

O estudo SC38 apresenta um método para o desenvolvimento e avaliação de aplicações de aprendizado imersivo, especificamente para plataformas de Cursos Online Abertos e Massivos (do inglês, *Massive Open Online Courses* - MOOCs), baseado em FREITAS & NEUMANN, 2009).

Especificamente para aplicações educacionais, cujo principal objetivo é proporcionar experiências baseadas em locais, o estudo SC48 apresentou um *framework* para apoiar a avaliação empírica e o avanço de experiências de aprendizagem imersivas, especificamente em viagens de campo virtuais e imersivas (do inglês, *Immersive Virtual Field Trips* - iVFTs). O objetivo principal é examinar sistematicamente os diferentes elementos que contribuem para o desempenho e a experiência de aprendizagem, caracterizando aspectos gerais de aprendizagem e por meio de experiências imersivas.

Por fim, SC77 orienta o desenvolvimento e análise de aplicações imersivas por meio das abordagens de aprendizagem experiencial e situacional. Desta forma, desenvolveu-se um *framework* utilizado para examinar o impacto que um ambiente virtual pode ter na experiência do usuário dos participantes em um espaço virtual. De acordo com o estudo, o valor pedagógico de experiências é possibilitado por imersão em um ambiente baseado na realidade, engajamento com situações e informações complexas e ambíguas e interação com o espaço, outros alunos e professores. Por meio de uma avaliação, conclui-se que altos níveis de interatividade em aplicações imersivas são triviais para uma melhor experiência imersiva de aprendizado, contudo continuam sendo um desafio.

### **3.6.3. QP3: Quais são as áreas de contribuição dos estudos primários?**

O objetivo desta questão de pesquisa é obter evidências sobre quais são as principais áreas que se utilizam das tecnologias imersivas para apoiar o processo de ensino e aprendizagem, bem como treinamento. A Figura 10 apresenta a frequência das áreas identificadas no conjunto final dos estudos primários. As principais áreas identificadas são ciências da computação, ensino e aprendizagem, idiomas e medicina.



Na área de ciências da computação, alguns trabalhos, tais como, SC28 e SC79 contribuem para o desenvolvimento de habilidades em programação. Em SC28, desenvolveu-se um ambiente imersivo a fim de apoiar o ensino sobre os conceitos teóricos do paradigma de orientação a objetos, os quais são essenciais para a programação orientada a objetos. Já em SC79 facilita a compreensão de algoritmos complexos e abstratos por meio de visualizações tridimensionais e interatividade. Os estudos SC09, SC22 e SC86 contribuem especificamente no projeto de sistemas inteligentes, na compreensão de modelos de máquina de estados finita, em segurança da informação, conceitos básicos de informática, na arquitetura de computadores e em edições de vídeos em RA, respectivamente.

Os estudos primários SC04, SC39, SC41, SC49, SC77, SC84 e SC85 desenvolveram um ambiente virtual, podendo ser aplicado a qualquer área do conhecimento e, por isso, foram classificados como ensino e aprendizagem. Por exemplo, em SC84, apresenta-se um sistema interativo de ensino em RV e RA sem fio baseado em *smartphones* para apoiar o processo de ensino e aprendizagem. Em SC49, desenvolveu-se um sistema de gravação para tornar conveniente e fácil para os professores a criação de materiais de ensino em ambiente virtuais. Já em SC39 descreve-se o projeto e implementação de um ambiente virtual para Cursos Abertos Massivos e Online (do inglês, *Massive Open Online Courses - MOOCs*).

No ensino de idiomas, os trabalhos SC11, SC16, SC83, SN09, SN10 e SN32 possuem como uma das principais motivações, estimular a interação e colaboração entre os estudantes por meio dos avatares e aumentar o engajamento através da interatividade dos ambientes. Por fim, na área médica, trabalhos como SC02, SC90, SC52 e SN01 possuem a finalidade de facilitar o treinamento de cirurgias em um ambiente simulado e com dispositivos hápticos. Já SC60 e SN16 possibilitam a avaliação oral de conhecimentos aos residentes e SC21 apresenta um ambiente imersivo projetado para ensinar o conhecimento do processo de coagulação do sangue baseado na aprendizagem em jogos.

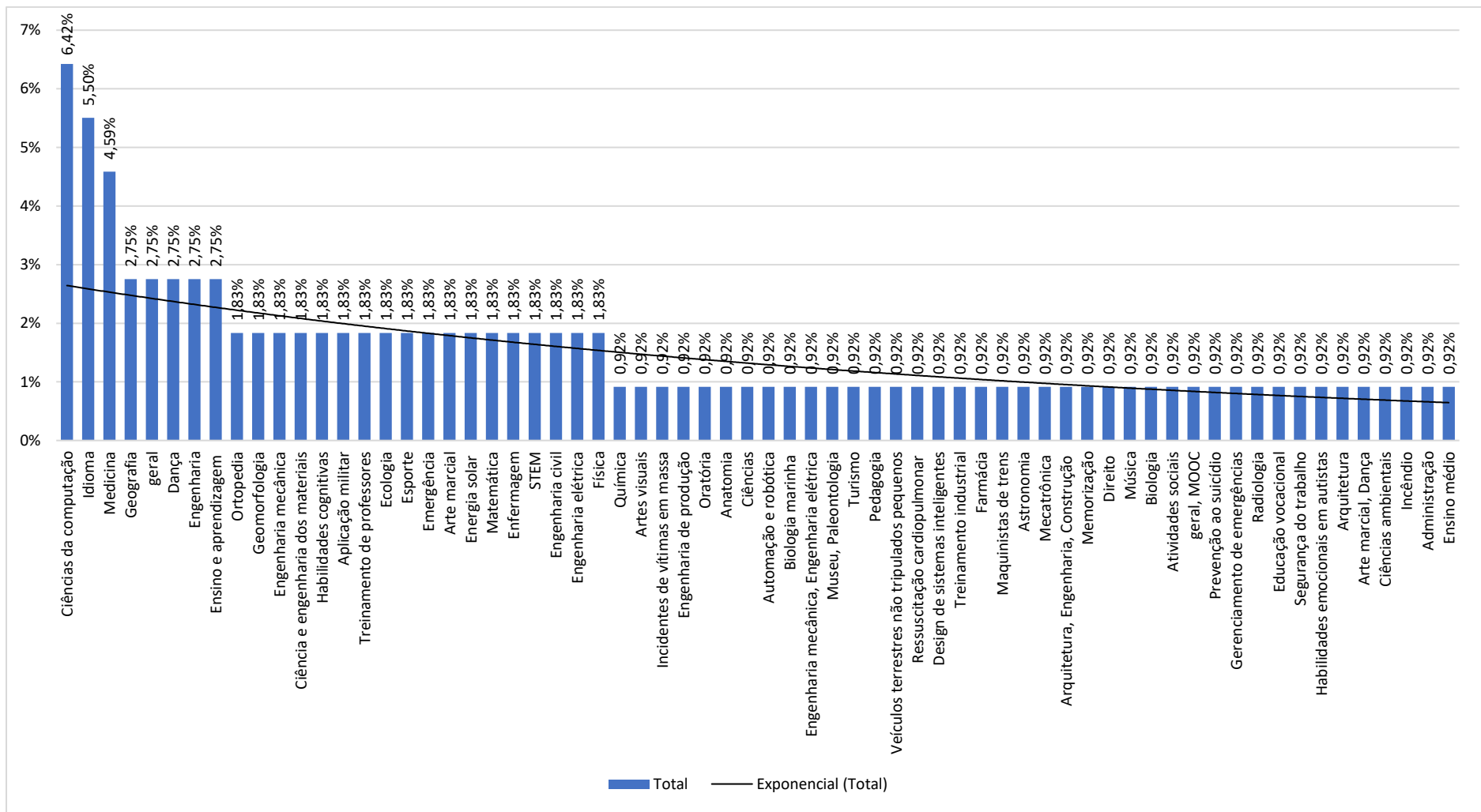


Figura 10. Frequência dos domínios de aplicação

### 3.6.4. QP4: Quais são as teorias ou abordagens pedagógicas que fundamentam os estudos primários?

Software educacional, em sua grande maioria, fundamenta-se em teorias ou abordagens pedagógicas, as quais subsidiam as técnicas e práticas adotadas em aplicações educacionais imersivas. O objetivo desta questão de pesquisa é obter evidências de quais são as principais teorias e abordagens pedagógicas adotadas nas aplicações educacionais imersivas.

A Figura 11 apresenta a frequência das teorias e abordagens, as quais foram apresentadas explicitamente nos estudos primários. Nota-se que a abordagem de aprendizagem baseada em jogos equivale a 35% do total das teorias e abordagens pedagógicas. Isto pode ser explicado pelo fato de que ferramentas educacionais, que visam engajar os alunos e, por sua vez, melhorar os resultados de aprendizagem, também utilizam esta estratégia. Além disso, as aplicações de RV mais populares são jogos.

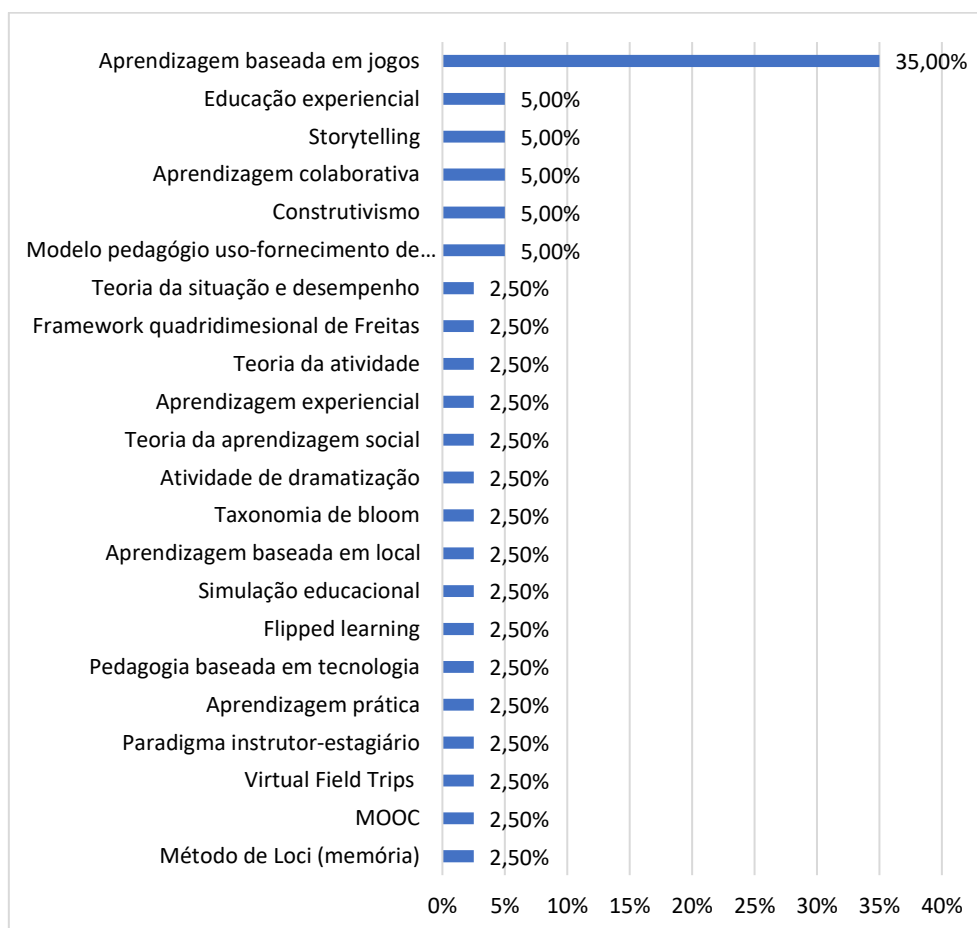


Figura 11. Frequência de teorias e abordagens pedagógicas

### 3.6.5. QP5: Quais são os dispositivos de interação humano-computador utilizados nos estudos primários?

Aplicações de RV e RM necessitam de dispositivos com requisitos mínimos para viabilizar seus propósitos. Neste sentido, o objetivo desta questão de pesquisa é identificar quais são os dispositivos utilizados nos estudos primários para apoiar o processo de ensino e aprendizagem, bem como de treinamento. Além disso, indiretamente, é identificada a expressividade de utilização de RV e RM das aplicações educacionais imersivas.

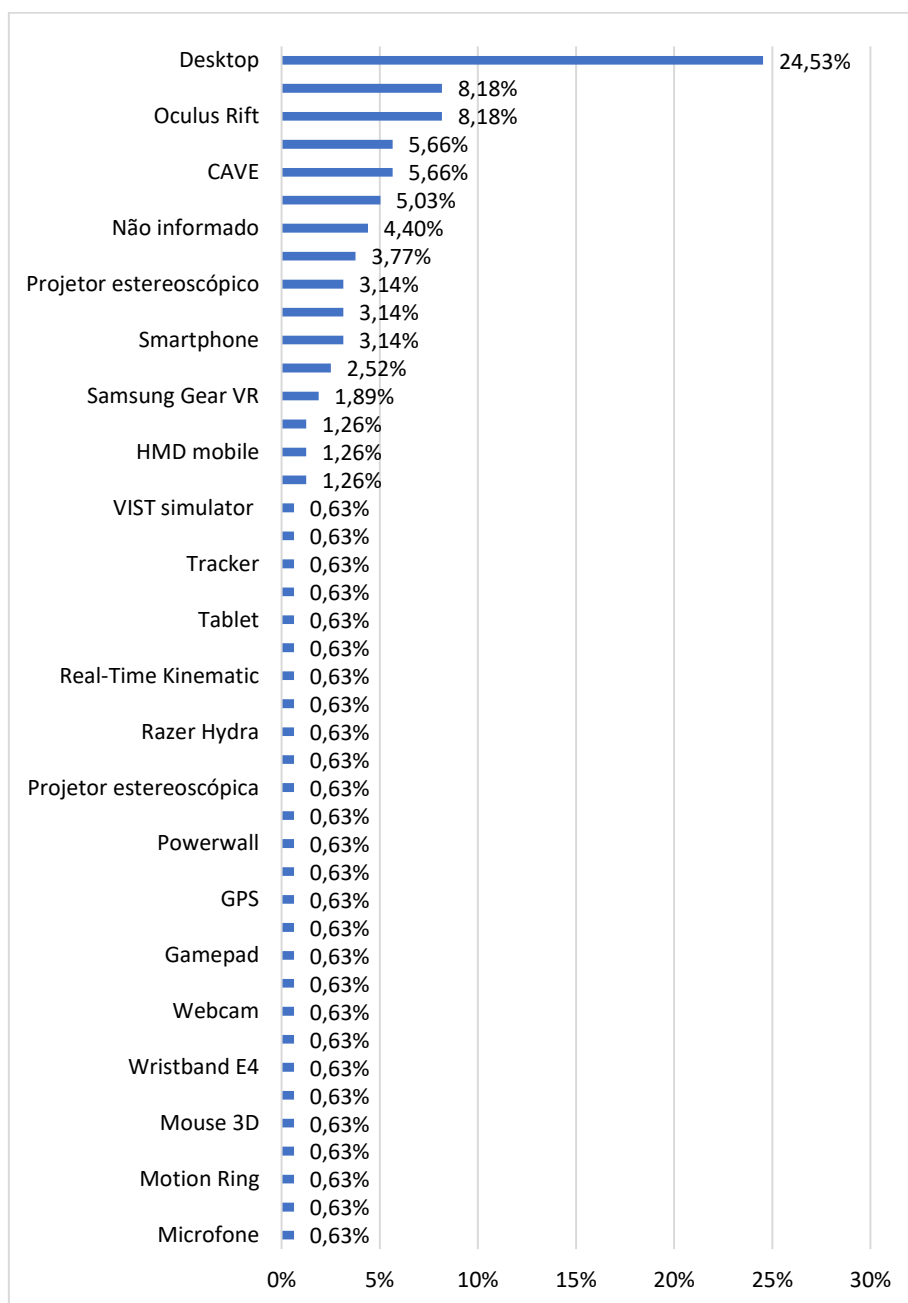


Figura 12. Frequência de dispositivos identificados

De acordo com a Figura 12, 24,53% dos dispositivos encontrados corresponde ao *desktop*, ou seja, os estudos primários relatam que o ambiente virtual e tridimensional no qual o usuário visualiza e interage é por meio de teclado, *mouse* e monitor, o que configuram uma RV não imersiva. Em relação à RV imersiva, destacam-se os dispositivos Oculus Rift (13), HTC Vive (13), Kinect (9), CAVE (9) e HMD (8). Tanto Oculus Rift e HTV Vive são considerados HMD (do inglês, *head-mounted display*) e sua principal característica é a visualização totalmente imersiva e em 360°, que isola totalmente o usuário do mundo real. Os estudos que não explicitaram os dispositivos foram classificados como HMD. Portanto, a RV imersiva, no geral, possui uma expressividade de 19% de uso dentre os estudos selecionados para esta RR. Já a RM é identificada pelos dispositivos Hololens (4), câmeras – considerando também *webcam* (2) e dispositivos móveis – *smartphones* e *tablets* (11). Considerando as características dos dispositivos identificados nos estudos, pode-se notar que a RM é pouco utilizada para apoiar o ensino e treinamento em relação à RV não imersiva e imersiva, conforme mostra a Figura 13.

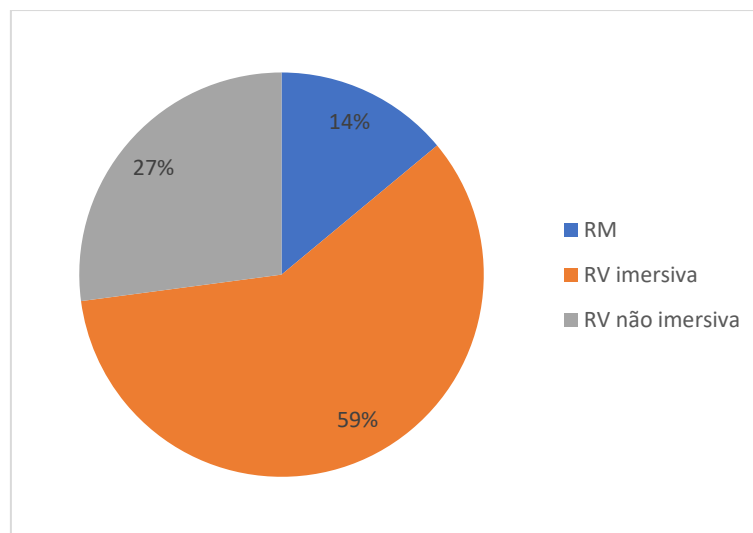


Figura 13. Distribuição dos tipos de tecnologias imersivas

### 3.6.6. QP6: Quais os indicadores adotados para a coleta e análise dos dados?

Termos como imersão, senso de presença e engajamento são comuns de serem usados para motivar a utilização das tecnologias imersivas no ensino e treinamento. No entanto, há uma diversidade de mecanismos e indicadores documentados na literatura técnica para mensurar o quanto uma aplicação imersiva pode contribuir para a melhoria dos resultados de aprendizagem e treinamento. Desta forma, esta questão de pesquisa tem

como objetivo identificar os principais indicadores utilizados para mostrar as evidências de que as aplicações imersivas podem contribuir para a melhoria da aprendizagem.



*Figura 14. Frequência dos indicadores para validação e análise*

A Figura 14 apresenta a frequência dos indicadores explicitados nos estudos primários. Alguns estudos não validaram a proposta, porém, 37 estudos focaram na experiência do usuário e 15 na usabilidade da aplicação para validar a contribuição das

aplicações no apoio ao ensino e treinamento. Alguns estudos primários, por exemplo, utilizaram questionários comuns na literatura, tais como o *User Experience Questionnaire* (SCHREPP *et al.*, 2017) (SC20), *System Usability Scale* (BROOKE, 1996) (SC10 e SC23), *Initial Simulatorsickness Questionnaire* (KENNEDY *et al.*, 1993) (SC10), *Presence Questionnaire* (WITMER & SINGER, 1998) (SC05), bem como questionários adaptados e criados pelos pesquisadores. Poucos utilizaram dispositivos com medições fisiológicas para medir os batimentos cardíacos, temperatura de pele, dentre outras características, que podem ser mais precisas para a analisar o grau de influência de presença do que questionários.

### **3.7. Considerações Finais**

A principal característica da recente área de pesquisa iE é a utilização de tecnologias imersivas para apoiar o ensino e treinamento. Um dos principais sentidos humanos explorados são a visão e audição. Isto se dá ao fato de que dispositivos deste tipo são mais acessíveis atualmente. Porém, outras formas de interação, como por exemplo, movimentos com as mãos também estão sendo mais explorados nos últimos anos, por meio dos dispositivos Kinect e Leap Motion (PENELLE & DEBEIR, 2014).

Analisando as evidências dos estudos primários apresentados dentre as questões de pesquisa determinadas nesta RR, nota-se que grande parte das aplicações tem como objetivo simular ambientes reais para facilitar a repetição das ações por parte dos alunos e facilitar o aprendizado. Dentre estes ambientes, estão laboratórios virtuais, os quais simulam ambientes perigosos ou com equipamentos de alto custo (SC05, SC40, SC62 e SN04), bem como a simulação de cirurgias em humanos, no caso de aplicação imersivas na área da medicina, apresentadas na Seção 3.6.3. Além da utilização de ambientes ou materiais de estudo intrinsecamente concretos e com formatos próprios, há também a utilização de RV e RM para o ensino de conceitos teóricos e abstratos, como é o caso no ensino de física (SC07 e SC08) e paradigma de orientação a objetos (SC28) - conhecimento básico para desenvolvimento de software orientado a objetos. Uma das principais razões por utilizar ambiente imersivos nestes domínios é a capacidade de promover a interação e visualização de forma interativa, lúdica e engajadora, que contribuem para a melhoria do aprendizado.

De forma geral, o desenvolvimento de aplicações educacionais imersivas, atualmente, conta com uma gama de dispositivos acessíveis, do ponto de vista financeiro

e de implementação. No entanto, considerando que apenas 6% dos estudos primários desta RR propuseram um método de desenvolvimento ou seleção de aplicações educacionais imersivas (Figura 9), conclui-se que ainda há uma carência de métodos que possam guiar sistematicamente o desenvolvimento de aplicações imersivas, de forma que os principais aspectos envolvidos, tais como imersão, dispositivos, abordagem pedagógica e objetivo de aprendizado, possam estar alinhados e contribuir de forma eficaz para a melhoria dos resultados de aprendizagem, principalmente em áreas específicas do conhecimento. Como por exemplo, um método para desenvolver aplicações educacionais imersivas considerando aspectos particulares para o domínio de matemática, medicina, dança, aplicação militar, ciências da computação, dentre outros.

Esta é uma lacuna eminente na literatura técnica, pois ao analisar os indicadores dos estudos primários, observou-se que imersão, senso de presença, engajamento, experiência do usuário, dentre outros, possuem definições ambíguas. Por exemplo, em SC05, imersão é tratada como a sensação de estar presente em um ambiente virtual, enquanto SC24 aborda imersão como qualidade do dispositivo imersivo, ou seja, quanto mais sentidos humanos cobrir, mais imersivo o dispositivo é.

Isto impacta diretamente na forma como desenvolver aplicações educacionais imersivas e, principalmente, como obter evidências do quanto experiências imersivas podem contribuir para a melhoria dos resultados de aprendizagem. Desta forma, adotar um método eficaz para medir indicadores, torna-se um grande desafio, pois além de não existir um consenso nas definições dos principais conceitos relacionados à AI, há diversos mecanismos utilizados para validação dos resultados. A grande parte são questionários, nos quais possuem um alto risco de ameaça à validade, devido a sua natureza intrínseca de viés nas respostas dos participantes, ou seja, parte-se do princípio de que as respostas refletem a realidade, o que na verdade pode não acontecer.

Uma possível alternativa é a utilização de dispositivos fisiológicos. Em SC51, foi utilizado o Wristband E4<sup>8</sup>, equipamento do tipo *wearable*<sup>9</sup> que oferece aquisição de dados fisiológicos em tempo real, permitindo a análise e visualizações detalhadas de dados, tais como pulso sanguíneo, atividades baseadas em movimentos, condições eletroestáticas e temperatura da pele, dentre outros. Estes dados alinhados a experiência imersiva em

---

<sup>8</sup> <https://www.empatica.com/research/e4/>

<sup>9</sup> Todo e qualquer dispositivo tecnológico que possa ser usado como acessório ou ser vestido.



tempo real, pode fornecer evidências mais confiáveis em relação ao senso de presença e adoção da tecnologia, por exemplo.

Além disso, as aplicações educacionais imersivas identificadas através dos estudos primários desta RR, não possuem integração de dados com outras aplicações da mesma área de conhecimento e algumas são apenas protótipos acadêmicos (SC21, SC61, SC85, SC87, dentre outros), ou seja, indisponíveis para o uso real e prático. Esta situação apresentada poderia ser solucionada através de uma plataforma central de uma determinada área do conhecimento, que possa reunir uma gama de aplicações imersivas do domínio, garantindo praticidade e usabilidade ao selecionar uma aplicação de acordo com as qualidades do dispositivo e do objetivo instrucional, do ponto de vista dos alunos, e na análise dos resultados de aprendizagem do aluno, a partir de vários indicadores, aplicações e dispositivos, sob o ponto de vista do professor.

Uma das técnicas, das quais podem ser utilizadas na plataforma central, é a Analítica de Aprendizagem (do inglês, *Learning Analytics* - LA), cujo objetivo é medir, coletar e analisar dados sobre os alunos e seus contextos, a fim de compreender e otimizar a aprendizagem (SIEMENS & BAKER, 2012). Segundo GAVILANES-SAGNAY *et al.* (2019), aplicações educacionais imersivas são confrontadas com várias questões, tais como falta de indicadores para acompanhar o progresso dos alunos, falta de parâmetros de avaliação bem definidos, dificuldades para avaliar contribuições coletivas e individuais, dificuldades para manter os alunos engajados e motivados, dentre outros. Contudo, na revisão da literatura realizada pelos autores, quase todas as contribuições da LA se concentram na solução de apenas alguns problemas, mas nenhuma oferece uma estrutura holística que possa ser usada por professores ou por uma equipe pedagógica para apoiar na tomada de decisões.

Por fim, considerando as limitações identificadas na literatura técnica discutidas acima, bem como aplicações educacionais imersivas que estão relacionadas com o ensino de ES e os *frameworks* para apoiar o desenvolvimento e análise de aplicações imersivas, ambos discutidos na Seção 3.6.2. Esta proposta de tese toma como base estas lacunas e desafios e apresenta detalhadamente a contribuição que este trabalho visa agregar à EES, a seguir.

## Capítulo 4 – *Frameworks* em Educação Imersiva

### 4.1. Introdução

A pesquisa em termos do uso de tecnologias imersivas na educação têm evoluído nos últimos anos. Aplicações imersivas, especialmente para apoiar o ensino de conceitos de STEAM (do inglês, *Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics*), podem se beneficiar das possibilidades de representações gráficas precisas, visitas a ambientes que teriam um alto custo ou risco de morte, revivenciar experiências, dentre outros (DENGEL & MÄGDEFRAU, 2018).

Embora BRICKEN (1990) afirme que o desenvolvimento de aplicações educacionais imersivas não tenham muitas complexidades, do ponto de vista tecnológico, por outro lado, assegura de que fatores podem influenciar o processo de ensino e aprendizagem por meio de experiências imersivas, tais como interação social, a sensação de pertencer ao mundo virtual, o contexto alinhado com o objetivo instrucional, dentre outros.

Considerando o fato de que o desenvolvimento de aplicações educacionais imersivas deve se basear em aspectos não somente tecnológicos, mas também em fatores humanos (*e.g.*, fundamentos pedagógicos e sociais), pesquisadores têm contribuído ao desenvolverem *frameworks* conceituais, nos quais estabelecem os principais elementos e o relacionamento entre eles, que devem ser considerados ao proporcionar experiências imersivas a fim de alcançar os objetivos de aprendizagem. No entanto, alguns estudos possuem termos ambíguos que dificultam a pesquisa em iE (*e.g.*, imersão e senso de presença), além de envolverem questões massivamente teóricas e, conseqüentemente, dificultar a implementação de aplicações educacionais imersivas considerando post-chave da tecnologia imersiva e educacional de maneira prática.

Portanto, este capítulo tem como contribuição apresentar e discutir os *frameworks* conceituais para iE, com o objetivo de identificar os principais elementos que devem ser considerados no *framework* conceitual desta proposta de tese.

O restante deste capítulo está organizado da seguinte forma: a Seção 4.2 faz uma análise dos elementos de *frameworks* de iE; a Seção 4.3 define os *guidelines* do *framework* iSEE e, por fim, a Seção 4.4 encerra o capítulo com as considerações finais.

## 4.2. Análise dos *Frameworks*

A análise está baseada nos estudos primários identificados na RR (SC24, SC34, SC38, SC48 e SC77), apresentados e discutidos na Seção 3.6.2. Portanto, o enfoque desta seção é nos principais elementos de cada *framework*.

Em SC24, seus principais elementos são imersão, presença, fatores motivacionais, fatores cognitivos, fatores emocionais e resultados de aprendizagem:

- **Imersão:** é uma descrição quantificável da tecnologia que fornece estímulos da realidade física e simula estímulos de um ambiente artificial. Isso inclui também tanto o hardware usado para exibir o conteúdo educacional fornecido por meio da tecnologia quanto o software (*e.g.*, MV);
- **Presença:** é um sentimento subjetivo de “estar lá”, no qual representa o fator central da percepção e interpretação para a aprendizagem imersiva. O conteúdo imersivo em si não invoca atividades de aprendizagem diretamente. Um maior sentimento de presença aprimora as atividades de aprendizagem, além de ser influenciada pelo nível de imersão do material instrucional, bem como por fatores motivacionais, cognitivos e emocionais;
- **Fatores motivacionais:** influenciam as atividades de aprendizagem e a presença, permitindo o aluno desempenhar as atividades por si mesmo, bem como ter prazer e satisfação de participar do processo de aprendizado;
- **Fatores cognitivos:** resumem todas as características e habilidades cognitivas que influenciam as atividades de aprendizagem, incluindo inteligência, estratégias de aprendizagem e a capacidade de pensamento reflexivo;
- **Fatores emocionais:** contribuem para as atividades de aprendizado e para a presença. Por exemplo, emoções acadêmicas positivas como prazer e orgulho podem ter um efeito positivo nos resultados da aprendizagem, enquanto emoções acadêmicas negativas como tédio levam a níveis mais baixos no aprendizado.
- **Resultados de aprendizagem:** está relacionado em como medir o ganho de conhecimento. Como o conhecimento não pode ser medido

diretamente, as medidas do resultado da aprendizagem podem ser na observação de ações e desempenho resultantes das atividades de aprendizagem.

Em SC34, seus principais elementos são Engenharia de Sistemas Centrados em Informação, Meios e ambientes tecnológicos, *Design* Centrado no Usuário, Especialistas do Domínio e Aprendizagem Distribuída:

- **Engenharia de Sistemas Centrados em Informação:** fornece uma base fundamental para o *framework*, pois destaca entendimento das principais características do domínio, por meio de interações com especialistas, antes do *design* ou desenvolvimento dos sistemas de aprendizagem. Essa perspectiva permite melhor compreensão da complexidade do domínio e, conseqüentemente, no desenvolvimento da aplicação imersiva;
- **Meios e ambientes tecnológicos:** considera os dispositivos que apoiarão as interações dos usuários com a aplicação imersiva, bem como os ambientes de desenvolvimento (Unity 3D, Unreal e Second Life) e linguagens de programação (C# e Javascript);
- ***Design* Centrado no Usuário:** técnicas e ferramentas de documentação de software utilizados para projetar a aplicação de acordo com os objetivos de aprendizagem dos usuários. Digramas de casos de uso, de classes e de sequência, são alguns diagramas da UML que podem ser utilizados para a documentação;
- **Especialistas do domínio:** desempenham papel fundamental na criação, construção e validação dos ambientes de aprendizagem. À medida que os ambientes evoluem, os especialistas fornecem *feedback* e as modificações são implementadas;
- **Aprendizagem distribuída:** considera-se a utilização de técnicas de rede para permitir a interação dos usuários, através de avatares, de diferentes locais.

Em SC38, seus principais elementos são baseados no *framework* quadrimensional proposto por DE FREITAS:

- **Perfil do usuário:** envolve um processo de criação de perfil e modelagem do aluno e seus requisitos. Esse perfil garante uma correspondência entre as atividades de aprendizagem e os resultados necessários. O *feedback*

para o aluno é um aspecto importante da reflexão sobre o aprendizado e pode ser central para a experiência de aprendizado mais eficaz;

- **Pedagogia:** analisa a perspectiva pedagógica das atividades de aprendizagem e considera os tipos de modelos de aprendizagem. Isso pode incluir o uso de modelos associativos baseados em abordagens de aprendizagem centradas na tarefa e modelos construtivistas de aprendizagem - que envolvem a construção de conhecimentos existentes por parte do aluno. A seleção particular de teorias de aprendizagem pode antecipar os tipos de resultados de aprendizagem resultantes;
- **Representação:** descreve a representação em si, quão interativa a experiência de aprendizado precisa ser, quais níveis de fidelidade são necessários e quão imersiva a experiência precisa ser. Esta dimensão considera o ambiente da experiência, o qual pode afetar os níveis de engajamento e motivação;
- **Contexto:** considera o local em que a aprendizagem é realizada, como por exemplo, na escola ou em contextos informais. O contexto também pode incluir os recursos de apoio usados para a aprendizagem. As interações entre o aluno e seu contexto são importantes, pois o aluno pode estar presente em um espaço físico e virtual ao mesmo tempo.

Em SC48, lugar e escala são os principais elementos que norteiam o trabalho:

- **Lugar:** conceito de que as tecnologias imersivas à educação baseada no local oferecem a qualidade de ir além da realidade, fornecendo experiências em um momento diferente, como o passado ou o futuro, ou alterar a escala de uma determinada experiência;
- **Escala:** conceito de experimentar um lugar em diferentes escalas e, assim, mudar suas perspectivas é essencial para todas as ciências observacionais. Dentro de experiências imersivas, pode-se abordar sistematicamente, por exemplo, como os usuários acessam um local em diferentes escalas.

Em SC77, senso de imersão, complexidade e interação são os principais elementos do *framework*:

- **Sendo de imersão:** é o senso de presença que o aluno percebe ao vivenciar um contexto específico, ou seja, uma experiência subjetiva de estar em um lugar ou ambiente, mesmo quando está fisicamente situado em outro lugar;

- **Complexidade:** compreender problemas complexos baseados no mundo real são tarefas bastante desafiadoras, mas são ainda mais quando desempenhadas no ambiente da sala de aula. O aspecto complexidade foca na dificuldade de compreensão de um determinado conteúdo instrucional;
- **Interação:** considerar a interação entre alunos e professores, bem como a interação entre os alunos e com os conteúdos das atividades de aprendizagem, é reconhecida como uma característica fundamental nos ambientes de aprendizagem.

A Tabela 6 apresenta um resumo dos principais elementos que caracterizam experiências imersivas, do ponto de vista de cada *framework*, das quais influenciam nos resultados de aprendizagem.

Os estudos primários SC24, SC34, SC38, SC48 e SC77 são *frameworks* que estabelecem elementos e relacionamento entre eles, de maneira que possam auxiliar no desenvolvimento e/ou seleção de aplicações educacionais imersivas, bem como na avaliação dos resultados de aprendizagem. Alguns trabalhos colocam ênfase em questões teóricas, tais como modelos pedagógicos, atividades e resultados de aprendizagem, e outros na qualidade dos dispositivos imersivos. Além disso, dentre os trabalhos, destacam-se como principais elementos a serem considerados imersão, senso de presença, engajamento, aspectos cognitivos e fatores emocionais. No entanto, em alguns trabalhos o mesmo termo possui definições diferentes, como é o caso de DENGEL & MÄGDEFRAU (2018), que definem imersão como uma qualidade do dispositivo imersivo, enquanto SCHOTT & MARSHALL (2018) consideram como um aspecto cognitivo, ou seja, a sensação de estar presente no MV.

Nota-se que em SC34 é adotada uma abordagem mais técnica, enfatizando a aplicação de técnicas de desenvolvimento de software para aplicações educacionais imersivas. Questões como imersão ou abordagens pedagógicas não são contempladas. Por outro lado, SC38 e SC77 tentam estabelecer um equilíbrio entre o senso de presença, imersão e atividades de aprendizagem. No entanto, enquanto SC38 considera imersão como uma característica objetiva, ou seja, qualidade da tecnologia ou dispositivo, SC77 considera como um estado cognitivo, ou seja, a percepção de que o usuário está presente em algum lugar. SC48 enfatiza dois elementos que, de certa forma, podem ser encaixados em elementos de outros *frameworks*. Por exemplo, o lugar e escala podem ser definidos como contexto e representação, respectivamente, em SC48.

Em SC24, é proposta uma relação entre fatores objetivos e subjetivos de maneira que influenciem a presença e, conseqüentemente, contribua para a melhoria dos resultados de aprendizagem. Os fatores objetivos são as características das tecnologias imersivas, relacionados ao elemento imersão, e os fatores subjetivos são os fatores motivacionais, cognitivos e emocionais.

*Tabela 6. Quadro comparativo entre frameworks*

<b>ID Estudo Primário</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Elementos</b>	<b>Descrição</b>
SC24	Fatores que influenciam os resultados de aprendizagem	<b>E1.</b> Imersão	Descrição quantificável o dispositivo imersivo
		<b>E2.</b> Presença	Sentimento subjetivo de “estar lá”
		<b>E3.</b> Fatores Motivacionais	Motivação de realizar alguma atividade ou tarefa
		<b>E4.</b> Fatores Cognitivos	Memorização e entendimento de algo
		<b>E5.</b> Fatores Emocionais	Emoções que desempenham papel na aprendizagem
		<b>E6.</b> Resultados de Aprendizagem	Realização de atividades de aprendizagem
SC34	Desenvolvimento de aplicações imersivas baseadas na Engenharia de Sistemas Centrados em Informação	<b>E7.</b> Princípios de Engenharia de Sistemas Centrados em Informação (ESCI)	Princípios da ESCI como base fundamental no desenvolvimento de aplicações imersivas
		<b>E8.</b> Meios e ambientes tecnológicos	Dispositivos de interface humano-computador e ambientes de desenvolvimento
		<b>E9.</b> Design Centrado no Usuário (DCU)	Princípios do DCU para auxiliar no entendimento do domínio da aplicação
		<b>E10.</b> Especialistas do Domínio	Interação com os interessados na utilização da aplicação
		<b>E11.</b> Aprendizagem Distribuída	Tecnologia que apoie os participantes aprendam em locais distribuídos
SC38	Desenvolvimento de MOOCs baseados em RV	<b>E12.</b> Perfil do Usuário	Descrição do perfil e requisitos do usuário
		<b>E13.</b> Pedagogia	Avaliação das atividades e modelos de aprendizagem para apoiar o processo de aprendizado
		<b>E14.</b> Representação	Representação gráfica e fidelidade dos objetos virtuais no MV
		<b>E15.</b> Contexto	Local em que o MV será utilizado.
SC48	Avaliação de aplicações específicas para viagens virtuais	<b>E16.</b> Lugar	Um local com significado
		<b>E17.</b> Escala	Tamanho do ambiente em relação ao corpo humano
SC77	Examinar a influência de um ambiente virtual na experiência do usuário	<b>E18.</b> Senso de imersão	Sentimento de presença em um contexto específico
		<b>E19.</b> Complexidade	Complexidade do conteúdo instrucional
		<b>E20.</b> Interação	Aspectos das interações entre aluno e professor

### **4.3. Guidelines do Framework iSEE**

A partir da análise realizada na seção anterior, pode-se identificar os principais elementos que devem compor um *framework* conceitual, cujo propósito deve ser apoiar

no planejamento de desenvolvimento de aplicação educacional imersiva de ES. Estes elementos são tratados neste trabalho como fatores e são agrupados como objetivos e subjetivos. Os fatores objetivos estão mais relacionados com os aspectos tecnológicos (*e.g.*, dispositivo, linguagem de programação e representação gráfica) e os fatores subjetivos estão relacionados com aspectos pedagógicos e nos resultados de aprendizagem (*e.g.*, abordagens pedagógicas, desenvolvimento de competências e habilidades, perfil do aluno). A partir de cada fator, foram geradas perguntas que devem ser respondidas para apoiar no planejamento do desenvolvimento da aplicação educacional imersiva, afim de apoiar na melhoria dos resultados de aprendizagem de ES. Estas perguntas são tratadas nesta proposta de tese como *guidelines*.

A Tabela 7 apresenta os *guidelines* do *framework* iSEE, agrupando-os por fator objetivo e subjetivo, bem como a relação com os elementos dos *frameworks* apresentados na Tabela 6.

*Tabela 7. Guidelines do framework iSEE*

<b>Tipos de Fator</b>	<b>Fatores</b>	<b>Guidelines</b>	<b>Relação com outros frameworks</b>
Objetivo	Imersão	<b>FO1.</b> Quais os estímulos sensoriais serão utilizados na aplicação imersiva?	E1
		<b>FO2.</b> Quais dispositivos imersivos devem ser utilizados e que estejam aderentes ao FO1?	E1
	Tecnologias Imersivas	<b>FO3.</b> Qual tecnologia imersiva será utilizada e que esteja aderente ao FO2?	E8
		<b>FO4.</b> Qual plataforma imersiva será utilizada e que esteja aderente ao FO3?	E8
	Interação	<b>FO5.</b> Quais técnicas apoiam as interações humano-computador?	E17
	Visualização de Software	<b>FO6.</b> Quais metáforas representam adequadamente os aspectos do software?	E14
Subjetivo	Resultados de Aprendizagem	<b>FS1.</b> Quais tópicos de ES serão abordados?	E6, E16 e E19
		<b>FS2.</b> Quais as competências e habilidades que devem ser alcançadas?	E6, E16 e E19
	Abordagens Pedagógicas	<b>FS3.</b> Quais teorias e/ou abordagens pedagógicas são aderentes ao resultados de aprendizagem esperados?	E13 e E20
	Senso de presença	<b>FS4.</b> Quais estratégias serão adotadas para proporcionar experiências engajadoras durante a interação e motivação na realização das tarefas?	E2, E3, E4, E5 e E18
	Perfil do Estudante	<b>FS5.</b> Qual o perfil do estudante que utilizará a aplicação imersiva?	E12
	Contexto	<b>FS6.</b> Qual o contexto no qual a aplicação imersiva será utilizada?	E15 e E20

Os elementos E7, E9, E10 e E11 propostos no estudo SC34 não foram considerados na elaboração dos *guidelines* do *framework* iSEE por serem elementos que



estão relacionados diretamente com técnicas de desenvolvimento de software. O objetivo central do *framework* iSEE é apoiar o planejamento do desenvolvimento de aplicação imersiva, independente de técnicas ou modelos de processos de desenvolvimento de software.

#### **4.4. Considerações Finais**

Este capítulo teve como principal objetivo apresentar a análise de *frameworks* para iE, do ponto de vista dos elementos que os compõem e, a partir desta análise, definir os *guidelines* do *framework* iSEE. O *framework* visa apoiar o planejamento do desenvolvimento de aplicações imersivas considerando os principais aspectos envolvidos em experiências imersivas no âmbito educacional, bem como nos aspectos da EES.

O próximo capítulo apresenta detalhadamente a abordagem iSEE, no qual o *framework* da proposta de tese está inserido.

# Capítulo 5 – Immersive Software Engineering Education

## 5.1. Introdução

A abordagem *Immersive Software Engineering Education* (iSEE) tem como principal objetivo propor um novo paradigma de ensino que apoie diretamente a Educação de Engenharia de Software (EES). As aulas, principalmente em universidades, ainda estão em formatos que há séculos vêm se perpetuando e são incompatíveis com o perfil dos alunos atuais e não têm conseguido desenvolver as reais habilidades e necessidades de que um engenheiro de software precisa para atender as necessidades do mercado.

Neste sentido, a abordagem iSEE fundamenta-se nas experiências imersivas como principal linha condutora na tentativa de melhoria dos resultados de aprendizagem em ES. A finalidade é propor mecanismos que facilitem a adoção de aplicações imersivas como instrumento pedagógico, bem como orientar o desenvolvimento para o domínio de ES. De forma a alcançar estes objetivos, esta proposta de tese possui duas contribuições: (i) propor um *framework* teórico a fim de apoiar no planejamento do desenvolvimento de aplicações educacionais imersivas, considerando características das tecnologias, habilidades e competências de ES e abordagens pedagógicas, e (ii) projetar e implementar uma plataforma imersiva com a finalidade de contribuir para a comunidade de EES, mais precisamente ser uma plataforma central na disponibilização de aplicações educacionais imersivas de ES.

Em uma visão holística e prática das contribuições da proposta de tese, a plataforma abará uma gama de aplicações educacionais imersivas para ES, em que cada aplicação utilize o *framework* conceitual para apoiar no desenvolvimento.

Este capítulo está organizado da seguinte forma: o *framework* e a plataforma iSEE são apresentados detalhadamente na Seção 5.2 e Seção 5.3, respectivamente. Por fim, a Seção 5.4 conclui o capítulo com as considerações finais.

## 5.2. Framework iSEE

O *framework* iSEE proposto neste trabalho agrupa os principais conceitos da iE à EES em dois fatores: objetivos e subjetivos. Os fatores objetivos são conceitos que podem ser quantificados. Por exemplo, quais dispositivos imersivos serão utilizados, o ambiente

virtual imersivo propriamente dito, métodos de interação adotados, a forma como representar as informações no mundo virtual, dentre outros. Já os fatores subjetivos estão relacionados com questões qualitativas, como por exemplo a sensação de estar presente no ambiente imersivo, engajamento, a teoria pedagógica que fundamenta a aprendizagem experiencial, bem como os objetivos dos resultados de aprendizagem. Cada um dos fatores objetivos e subjetivos do *framework* proposto são apresentados a seguir.

### **5.2.1. Fator Objetivo Imersão**

A principal característica da RV é a de transmitir uma sensação de estar presente em um ambiente totalmente gerado por computador. A partir do fato de que os seres humanos são dotados de cinco sentidos (olfato, paladar, visão, audição e tato) para interagir com o mundo em que vivem, as pesquisas sobre RV têm buscado fazer os usuários interagirem com os AVs da mesma forma como eles interagem com o mundo real, tornando mais completa a experiência nos sistemas de RV. Desta forma, necessita-se de dispositivos imersivos para transmitir estímulos aos sentidos humanos. Os mais comuns e acessíveis são visão e audição. Dispositivos hápticos, os quais transmitem estímulos para manipular objetos virtuais ou sentir o peso destes, bem como dispositivos que simulam informações para os sentidos de olfato e paladar são mais restritos. Apesar da exploração da imersão ser mais comum em sistemas de RV, também é possível utilizar em sistemas de RM.

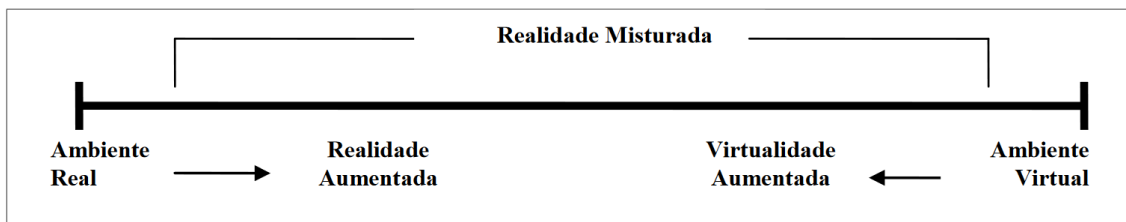
O Fator Objetivo Imersão está relacionado diretamente com a qualidade e característica dos dispositivos imersivos usados para interagir com o AV. Quanto maior o uso dos sentidos humanos através de dispositivos imersivos, maior será o grau de imersão. Desta forma, deve-se responder as seguintes questões:

- *FO1. Quais os estímulos sensoriais serão utilizados na aplicação imersiva?*
- *FO2. Quais dispositivos imersivos devem ser utilizados e que estejam aderentes ao FO1?*

### **5.2.2. Fator Objetivo Tecnologias Imersivas**

RV e Realidade Misturada (RM) neste trabalho são abordados como TIs. Considerando o *Continuum* de Milgram (1995) apresentado na Figura 15, observa-se que nas extremidades são caracterizados os ambientes real e virtual. Caso haja predominância

sobre o real, denomina-se Virtualidade Aumentada (VA) e RA ao contrário, ou seja, quando o ambiente real prevalece sobre o virtual. O conjunto, tanto RA quanto VA, caracterizam-se por RM. O Ambiente Virtual (AV) é o ambiente gerado totalmente por computador, podendo ou não representar um ambiente já existente ou criar simulações. Desta forma, AV é o principal elemento da RV, pois consiste em um ambiente tridimensional totalmente gerado por computador, que permite ao usuário navegação e interação em tempo real, podendo fazer uso de dispositivos multissensoriais, para atuação ou *feedback* (TORI *et al.*, 2006).



*Figura 15. Continuum de Milgram*

Além disso, aplicações são desenvolvidas com enfoque em algumas plataformas imersivas, tais como Oculus<sup>10</sup>, Vive<sup>11</sup>, Daydream<sup>12</sup>, dentre outros. Cada uma disponibiliza um Kit de Desenvolvimento de Software (do inglês, *Software Development Kit – SDK*) para apoiar no desenvolvimento da aplicação e obter compatibilidade com os dispositivos aderentes à plataforma.

O propósito do Fator Objetivo Tecnologias Imersivas é de selecionar se será utilizado RV e/ou RM, bem como em qual plataforma imersiva a aplicação será baseada. Portanto, neste fator, deve-se responder as seguintes questões:

- **FO3.** *Qual tecnologia imersiva será utilizada e que esteja aderente ao FO2?*
- **FO4.** *Qual plataforma imersiva será utilizada e que esteja aderente ao FO3?*

<sup>10</sup> <https://www.oculus.com/>

<sup>11</sup> <https://www.vive.com/>

<sup>12</sup> <https://arvr.google.com/daydream/>

### 5.2.3. Fator Objetivo Interação

A interação do usuário com o AV, por meio das TIs, deve ser realizada de forma bastante natural. De acordo com (BOWMAN *et al.*, 2004), interação é um método que permite ao usuário realizar uma tarefa através de uma interface. Uma técnica de interação inclui tanto hardware (dispositivos de entrada/saída) quanto software. As técnicas de interação utilizadas nos componentes de software são responsáveis por mapear a informação de um dispositivo de entrada em alguma ação dentro do sistema, e por mapear a saída do sistema de forma que esta possa ser interpretada pelos dispositivos de saída. Por exemplo, um aspecto importante da interação com sistemas de RM é fazer com que o usuário realize suas tarefas e interaja com os objetos reais e virtuais simultaneamente. Desta forma, deve-se levar em consideração quais serão as formas de interação baseadas nos dispositivos.

Diversos são os benefícios do uso adequado de técnicas de interação que podem agregar ao AV. Dentre estes, pode-se citar a usabilidade do sistema, menor curva de aprendizagem, localização e uso de todas as potencialidades da aplicação e otimização do tempo do usuário na busca pela informação (KELNER & TEICHRIEB, 2008).

BOWMAN *et al.* (2004) propuseram uma classificação de técnicas de interação tanto para sistemas de RV quanto para RM e uma lista das principais características. Por exemplo, para a manipulação de objetos 3D existem diversas técnicas, tais como apontamento; manipulação direta; mundo em miniatura; agregação e interação; e manipulação 3D. Para realizar uma tarefa de apontamento, existem cinco técnicas, cada uma com sua característica. O *ray-casting*<sup>13</sup>, por exemplo, é a forma mais simples e eficiente para objetos à curta distância, porém há limitação no uso de objetos pequenos e distantes. A técnica *two-handed* permite utilizar as mãos para realizar o apontamento, além de permitir uma interação rica e mais intuitiva.

Neste sentido, o Fator Objetivo Interação preocupa-se em identificar as técnicas de interação apropriadas baseadas nas TIs, bem como nos dispositivos selecionados para o ambiente imersivo educacional. Este fator possui a seguinte questão:

- **FO5.** *Quais técnicas apoiam as interações humano-computador?*

---

<sup>13</sup> Consiste em um raio infinito que parte da mão do usuário na direção definida pela orientação da mão virtual (JACOB, OLIVA, *et al.*, 2002)

#### 5.2.4. Fator Objetivo Visualização de Software

Em alguns AVs, os objetos virtuais podem manifestar certos atributos, tais como geometria, cores, texturas, iluminação, características dinâmicas, restrições físicas e atributos acústicos (TORI *et al.*, 2006). No entanto, certos AVs não se referenciam ao mundo real, constituindo-se apenas de modelos abstratos. Independentemente do tipo de ambiente, as cores, texturas e iluminação são elementos importantes para uma boa visualização. Há situações em que o AV é utilizado para avaliar apenas alguma simulação comportamental, na qual a precisão do comportamento é mais importante que a fidelidade visual, como por exemplo, o caso de reações químicas, que podem usar representações simples das moléculas baseadas em esferas coloridas (TORI *et al.*, 2006).

O Fator Objetivo Visualização de Software destina-se a representar graficamente, de forma adequada, os elementos relacionados a ES de acordo com o objetivo de aprendizagem do AV. Segundo (DIEHL, 2007), a visualização de software é a arte e a ciência de gerar representações visuais dos vários aspectos do software e seu processo de desenvolvimento. Diversas metáforas visuais e técnicas de interação têm sido propostas à visualização tridimensional, porém há poucos estudos na utilização eficaz de metáforas imersivas alinhadas às interações por meio dos dispositivos imersivos (TEYSEYRE & CAMPO, 2009). Apesar desta lacuna existir, necessita-se estabelecer quais representações serão mais adequadas para representar os aspectos do software de acordo com o objetivo educacional. Sendo assim, neste fator, deve-se responder a seguinte questão:

- *FO6. Quais metáforas representam adequadamente os aspectos do software?*

#### 5.2.5. Fator Subjetivo Resultados de Aprendizagem

Com o desenvolvimento do AV educacional, espera-se que o aluno, ao interagir com o AV, adquira conhecimentos e habilidades específicas. Desta forma, este fator tem como objetivo definir quais serão os resultados de aprendizagem que deverão ser alcançados.

Baseando-se no guia para o corpo de conhecimento em Engenharia de Software (do inglês, *Software Engineering Body of Knowledge - SWEBOK*), pode-se indicar quais os tópicos que serão abordados no AV de acordo com as área de conhecimento, a saber: requisitos de software, projeto de software, construção de software, teste de software,

manutenção de software, gerência de configuração de software, gerenciamento de engenharia de software, processo de engenharia de software, métodos e modelos de engenharia de software, qualidade de software, prática profissional de engenharia de software, economia de engenharia de software, fundamentos computacionais, fundamentos matemáticos e fundamentos de engenharia (SWEBOK, 2017)

Além disso, também, deve-se definir quais serão as habilidades da ES que deverão ser adquiridas pelos alunos. Por exemplo, o Modelo de Competências de Engenharia de Software (do inglês, *Software Engineering Competency Model* - SWECOM) é direcionado a uma variedade de propósitos, promovendo um conteúdo sólido, que apresenta as competências de um engenheiro de software separadas por áreas de habilidade e atividades, classificadas de acordo com o nível técnico de competência do profissional (SWECOM, 2014).

Neste sentido, o objetivo do Fator Subjetivo Resultados de Aprendizagem é estabelecer os tópicos de ES, bem com as competências e habilidades, as quais devem ser adquiridas. As perguntas que compõem este fator são:

- *FS1. Quais os tópicos de ES que serão abordados?*
- *FS2. Quais as competências e habilidades que devem ser alcançadas?*

#### **5.2.6. Fator Subjetivo Abordagens Pedagógicas**

É trivial analisar a perspectiva pedagógica das atividades de aprendizagem e incluir uma consideração às teorias pedagógicas. Isso inclui a análise de modelos pedagógicos baseados na experiência (KOLB, 2014), bem como na construção do conhecimento (VYGOTSKY, 1978), dentre outras.

Segundo KOLB (2014), a Teoria da Aprendizagem Experiencial (TAE) fornece um modelo holístico do processo de aprendizagem e um modelo multilinear de desenvolvimento, os quais são consistentes com o que se conhece sobre como as pessoas aprendem, crescem e se desenvolvem. Na TAE, a aprendizagem é o processo pelo qual o conhecimento é criado por meio da transformação da experiência, o conhecimento resulta da combinação de compreender e transformar a experiência. Por outro lado, A teoria de aprendizagem de VYGOTSKY (1978) coloca a colaboração inter-agentes no centro do processo educacional, uma vez que baseia-se no fato de que a inteligência humana tem sua origem em seu meio sociocultural, de forma que qualquer evolução cognitiva individual deve-se, em primeira instância, ao desenvolvimento interpessoal, advindo da

interação do sujeito com o ambiente social no qual se encontra inserido. Sob tal ótica, o desenvolvimento cognitivo proveniente da internalização do conhecimento, ou seja, um processo intrapessoal de aprendizagem, viria em um segundo plano.

Além das teorias pedagógicas, pode-se adotar abordagens mais concretas que constituem em uma espécie de dinâmica para apoiar o processo de ensino e aprendizagem, tais como aprendizagem baseada em jogos, aprendizagem baseada em problemas, aprendizagem baseada em projetos, dentre outras. Segundo DE FREITAS & OLIVER (2006), a seleção adequada de teorias e/ou abordagens de aprendizagem impacta positivamente nos resultados de aprendizagem esperados. Portanto, o Fator Subjetivo Abordagens Pedagógicas tem como objetivo selecionar a teoria e/ou abordagem pedagógica que se adequa aos resultados de aprendizagem esperados e é orientada pela seguinte pergunta:

- *FS3. Quais teorias e/ou abordagens pedagógicas são aderentes aos resultados de aprendizagem esperados?*

### **5.2.7. Fator Subjetivo Senso de Presença**

O senso de presença pode ser descrito como uma sensação de “estar lá” (NOWAK & BIOCCA, 2003). Como sentimento subjetivo, o usuário ao interagir com o MV sente-se presente quando seus sistemas nervosos perceptivos, vestibulares, proprioceptivos e autonômicos são ativados de maneira semelhante ao da vida real em situações semelhantes (SLATER, 2003).

MIKROPOULOS (2006) afirma que a presença é uma característica única de MVs, derivada de diferentes configurações imersivas entre hardware e software. Constatou-se em alguns estudos que imersão, engajamento, diversão, motivação e outros aspectos cognitivos influenciam nos resultados de aprendizagem (BAILEY, BAIENSON, *et al.*, 2012, LEE, WONG, *et al.*, 2010).

A presença como percepção subjetiva representa o fator central para influenciar os resultados de aprendizagem. Apesar de sua importância, os diferentes tipos de métricas e entendimentos teóricos do senso de presença são ainda um desafio para a realização de experimentos controlados. Além do efeito revelado do senso de presença nos resultados de aprendizagem, fatores mais subjetivos (juntamente com a imersão e outros fatores objetivos), como aspectos cognitivos, motivacionais e emocionais, possuem indícios de



influenciarem tanto nos resultados de aprendizagem quanto no senso de presença (DENGEL, MÄGDEFRAU, 2019).

Portanto, considerando que o senso de presença é um aspecto importante em experiências imersivas, o Fator Subjetivo Senso de Presença tem como objetivo estabelecer quais estratégias serão adotadas para que os usuários desenvolvam o senso de presença durante a interação com a aplicação imersiva. Neste fator estabeleceu-se a seguinte pergunta:

- *FS4. Quais estratégias serão adotadas para proporcionar experiências engajadoras durante a interação e motivação na realização das tarefas?*

### **5.2.8. Fator Subjetivo Perfil do Estudante**

Estabelecer o perfil do estudante é um processo importante, pois garante uma correspondência entre as atividades de aprendizagem e os resultados necessários. O enfoque no perfil destaca a importância da interação entre o estudante e a aplicação imersiva (DE FREITAS, OLIVER, 2006).

Cursos de graduação, pós-graduação e outras modalidades (*e.g.*, cursos online, cursos de atualização etc.), estabelecem as características importantes dos estudantes que devem ser considerados ao desenvolver a aplicação imersiva, como por exemplo nível de profundidade em um determinado assunto, tópico que exige conhecimento em outras áreas ou até mesmo qual tópico abordar.

Desta forma, o Fator Subjetivo Perfil do Estudante tem como objetivo estabelecer para qual tipo de perfil de estudante a aplicação imersiva é mais adequada. Neste fator estabeleceu-se a seguinte pergunta:

- *FS5. Qual o perfil do estudante que utilizará a aplicação imersiva?*

### **5.2.9. Fator Subjetivo Contexto**

Além de estabelecer os fatores apresentados acima, é também importante definir em qual contexto a aplicação será utilizada. Definir o local no qual o estudante irá interagir com o MV da aplicação, possui um peso considerável na dinâmica, perfis e quantidade de usuários, bem como no uso de dispositivos imersivos.

Aplicações educacionais imersivas de ES podem ser utilizadas, tanto em salas de aula, em casa ou até em ambientes profissionais. Independente do local, podem considerar a utilização de usuário apenas, multiusuário ou interações entre professor e estudantes.

Estas situações também influenciam em quais tipos de dispositivos imersivos vão apoiar os contextos estabelecidos.

Portanto, o Fator Subjetivo Contexto visa estabelecer o local no qual a aplicação imersiva será utilizada através da seguinte questão:

- *FS6. Qual o contexto no qual a aplicação imersiva será utilizada?*

### **5.3. Plataforma iSEE**

O *framework* teórico apresentado acima possui a finalidade de auxiliar no planejamento do desenvolvimento de aplicações educacionais imersivas com objetivos bem definidos de acordo com habilidades e competências de ES que devem ser adquiridos através do uso da aplicação.

Além do *framework*, esta proposta de tese visa desenvolver uma plataforma imersiva, denominada Plataforma iSEE, com a finalidade de centralizar as aplicações e fomentar a utilização de tecnologias imersivas para apoiar a EES.

Analogamente às plataformas de dispositivos móveis, tais como Play Store<sup>14</sup> para dispositivos baseados em Android e App Store<sup>15</sup> para dispositivos baseados em iOS, o uso de aplicações imersivas também possui este requisito. Aplicações desenvolvidas para dispositivos compatíveis com Oculus são publicados e disponibilizados por meio da Oculus Store<sup>16</sup>, assim como aplicações para HTC Vive são publicados na Viveport<sup>17</sup>. Nestes formatos de plataformas, a busca de aplicações específicas para ES pode não ser apropriada, visto que não há campos que auxiliem na seleção de aplicações de apoio ao ensino de teste de software, por exemplo.

Neste sentido, a Plataforma iSEE permitirá que desenvolvedores disponibilizem suas aplicações imersivas para usuários (instrutores/alunos) utilizarem de acordo com suas necessidades de aprendizagem. A Figura 16 mostra uma visão geral da plataforma proposta.

---

<sup>14</sup> <https://play.google.com>

<sup>15</sup> <https://www.apple.com/br/ios/app-store/>

<sup>16</sup> <https://www.oculus.com/experiences/rift>

<sup>17</sup> <https://www.viveport.com/>

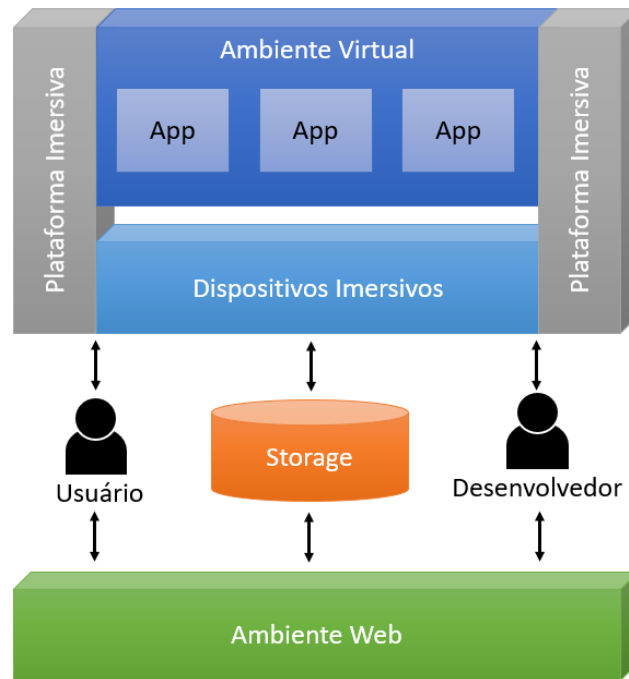


Figura 16. Visão geral da plataforma imersiva

Instrutores e alunos são considerados como *Usuários* da plataforma e cada um possui uma necessidade na aquisição de alguma habilidade de ES ao interagir com uma aplicação imersiva. Já os *Desenvolvedores* são os interessados em disponibilizar para a comunidade suas aplicações imersivas desenvolvidas, cada uma denominada como *APP*. Cada *APP* possui fatores objetivos e subjetivos distintos e estão disponíveis no *Ambiente Virtual*, a fim de permitir que *Usuários* encontrem qual aplicação imersiva é mais aderente com o seu propósito e com os fatores objetivos e subjetivos da aplicação imersiva.

A interação entre o *Usuário* e *Ambiente Virtual* deve ocorrer por intermédio de uma gama de tipos de *Dispositivos Imersivos*, como por exemplo, óculos de RV para *desktop*, óculos de RV *standalone*, óculos de RV para dispositivos móveis, óculos de RA, sensores de movimento, DOMO, CAVE, dentre outros. Embora o foco seja nas aplicações que utilizem dispositivos imersivos, também podem ser utilizados dispositivos tradicionais, tais como teclado, *mouse*, monitor, de acordo com o fator objetivo imersão definido na aplicação imersiva desenvolvida.

Normalmente, aplicações imersivas são desenvolvidas com enfoque em *Plataformas Imersivas*, tais como Oculus, Vive e Daydream, as quais possuem compatibilidades restritas na utilização de dispositivos imersivos, além de disponibilizar

um SDK. Neste sentido, uma aplicação imersiva desenvolvida com enfoque na plataforma Oculus deverá utilizar seu SDK, a fim de obter compatibilidade com os dispositivos Oculus Quest, Oculus Rift e Oculus Go – cada um com características de imersão e interação distintas. Desta forma, antes do desenvolvimento de uma aplicação imersiva baseada na plataforma Oculus, deve-se estabelecer se haverá a necessidade de restrição de dispositivos ou, caso não haja, como as adaptações na aplicação serão realizadas de um dispositivo para outro.

A partir do ponto de vista da escolha de qual plataforma imersiva desenvolver, a Plataforma iSEE deve ser disponibilizada nas principais plataformas, a fim de garantir a utilização das aplicações imersivas nos mais variados dispositivos imersivos. Sendo assim, a Plataforma iSEE deve disponibilizar ao usuário somente aplicações imersivas compatíveis com o dispositivo que está sendo utilizado pelo *Usuário* para acessar o *Ambiente Virtual*. Por exemplo, ao acessar por meio do dispositivo HTC Vive, automaticamente o *Ambiente Virtual* permitirá somente acesso às aplicações que são compatíveis com este dispositivo e assim por diante.

O *Ambiente Web* permite que tanto *Usuários* quanto *Desenvolvedores* acessem suas funcionalidades. Esta plataforma é um website que possibilita ao *Usuário* realizar seu cadastro na Plataforma iSEE, bem como aos *Desenvolvedores* realizarem o envio de aplicações imersivas. Todos os dados gerados na Plataforma iSEE são persistidos no *Storage*.

### 5.3.1. Implementação da Plataforma iSEE

O *Ambiente Virtual* da Plataforma iSEE foi desenvolvida com o *game engine* Unity 3D<sup>18</sup>, Oculus *framework* e compatibilidade com o dispositivo Oculus Rift. Na implementação do *Ambiente Web* foi utilizado o *framework* Laravel<sup>19</sup>.

Uma *game engine* é um software que oferece um conjunto de ferramentas e componentes de execução em tempo real que promovem o funcionamento de um jogo (DOS SANTOS *et al.*, 2013). Optou-se pelo Unity 3D, pois este vem se destacando devido a sua alta produtividade, às diversas plataformas de desenvolvimento e a possibilidade de criação e reutilização de pacotes de customização para diversos tipos de

---

<sup>18</sup> <https://unity.com/>

<sup>19</sup> <https://laravel.com/>

soluções (TORI *et al.*, 2006). Além disso, as principais plataformas de RV (Oculus, Vive e Daydream) oferecem mecanismos para apoiar o desenvolvimento de aplicações imersivas com esta *game engine*.

O *Ambiente Virtual* da Plataforma iSEE foi desenvolvido para ser compatível com Oculus Rift por ser um dispositivo disponível no Laboratório de Realidade Virtual (Lab3D<sup>20</sup>) do PESC da COPPE-UFRJ, onde foi desenvolvida esta pesquisa, além de ser um dos principais *Head-Mounted Display* (HMD) mais utilizados pela comunidade de desenvolvedores de aplicações imersivas. O Lab3D tem como objetivo incentivar o desenvolvimento de aplicações que apoiam o ensino de ES, além de estabelecer parcerias com áreas interdisciplinares e oferecer uma infraestrutura de ponta. Deste modo, utilizou-se o Oculus *framework* para implementar as funcionalidades do *Ambiente Virtual*, de forma que sejam compatíveis com o dispositivo Oculus Rift.

Adotou-se o *framework* Laravel como principal ferramenta de desenvolvimento do *Ambiente Web*, pois oferece uma arquitetura Modelo-Visão-Controlador (do inglês, *Model-View-Controller - MVC*) que visa aumentar a modularidade de sistemas de *software*, além de auxiliar no desenvolvimento de aplicações seguras e de alto desempenho de forma ágil e simplificada, com código limpo. Outra característica é o incentivo do uso de boas práticas de programação, a utilização de padrões específicos a ele determinados e utiliza a linguagem PHP (LARAVEL, 2020).

O usuário, ao acessar o *Ambiente Virtual*, visualiza a tela principal com as aplicações imersivas disponíveis, conforme mostra a Figura 17. Os aplicativos são obtidos via *webservice* no formato JSON, os quais são acessados pela *Ambiente Web*. A Figura 18 mostra um exemplo da estrutura dos dados: *appname* é o nome da aplicação; *description* descreve em linhas gerais o objetivo do aplicativo; *picture* é a imagem em miniatura, que aparece no menu do *Ambiente Virtual*, e *file* é o arquivo executável do aplicativo.

O usuário, ao escolher um aplicativo, é transferido para o dispositivo e, logo após, inicia sua execução. A principal classe responsável por implementar estas responsabilidades está atribuída à classe *App*. Dentre seus atributos e métodos, a Figura 19 mostra apenas os métodos *OnPointerClick()* e *DownloadFile()*, os quais são os principais para realizar o *download* e a execução do aplicativo.

---

<sup>20</sup> lab3d.coppe.ufrj.br

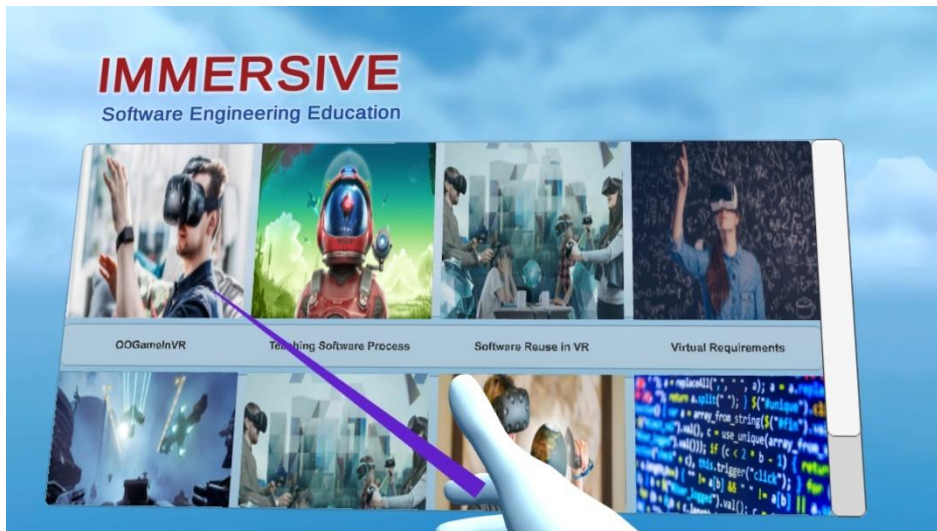


Figura 17. Tela principal da plataforma imersiva

```

▼ 0:
  id: 1
  appname: "OOGameInVR"
  description: "The game in VR for teaching object-oriented"
  picture: "133210201905315cf12cda25d2e.png"
  file: "133210201905315cf12cda1dc6f.zip"
  created_at: "2019-05-31 13:32:10"
  updated_at: "2019-05-31 13:32:10"
▼ 1:
  id: 2
  appname: "Teaching Software Process"
  description: "This is a app's description about teaching software process"
  picture: "032333201906085cfb2a35926b6.png"
  file: "032333201906085cfb2a351173b.pdf"
  created_at: "2019-06-08 03:23:33"
  updated_at: "2019-06-08 03:23:33"
▼ 2:
  id: 3
  appname: "Software Reuse in VR"
  description: "This is a app's description about software reuse game in virtual reality"
  picture: "032504201906085cfb2a90f19b0.jpeg"
  file: "032504201906085cfb2a90ed985.pdf"
  created_at: "2019-06-08 03:25:05"
  updated_at: "2019-06-08 03:25:05"

```

Figura 18. Dados dos aplicativos imersivos no formato JSON

App
- DownloadFile() : IEnumerator + OnPointerClick(eventData : PointerEventData) : void

Figura 19. Classe App responsável pelo download e execução de aplicativo imersivo

O método *OnPointerClick()* é chamado automaticamente quando o usuário clica em algum aplicativo. Em seguida, o método *DownloadFile()* é invocado, realizando o *download* do aplicativo até atingir o tamanho do arquivo. A Figura 20 mostra a implementação do método *DownloadFile()*. Em linhas gerais, é estabelecida a URL de acesso aos dados dos aplicativos no formato JSON à variável *uwr*. A variável *path* indica em qual local no computador do usuário o aplicativo será armazenado. Caso não haja erro durante o *download*, o arquivo é descompactado e executado logo após.

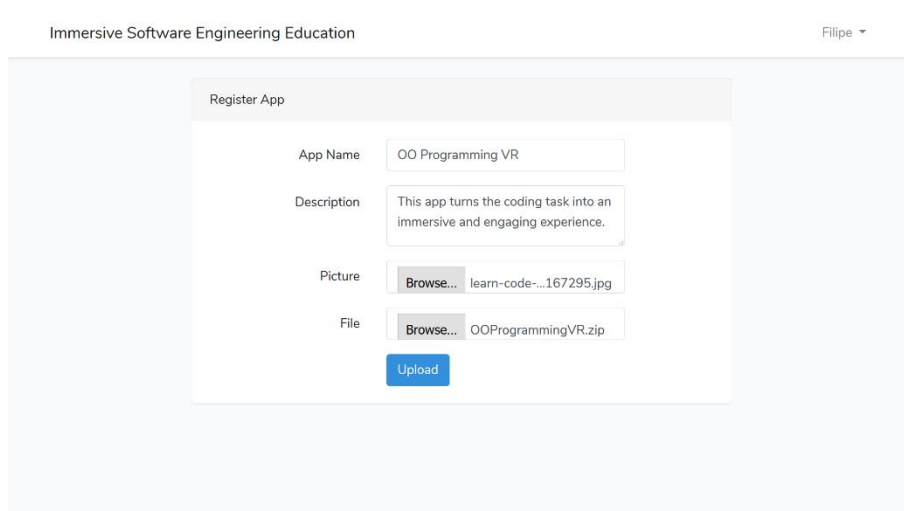
```
IEnumerator DownloadFile()
{
    uwr = new UnityWebRequest(urlapp, UnityWebRequest.kHttpVerbGET);
    string path = Path.Combine(baseDirectoryPath + "\\\" + appname, appname);
    uwr.downloadHandler = new DownloadHandlerFile(path);

    yield return uwr.SendWebRequest();

    if (uwr.isNetworkError || uwr.isHttpError)
        Debug.LogError(uwr.error);
    else
        Zip.Unzip();
}
```

Figura 20. Código do principal método da classe *App*

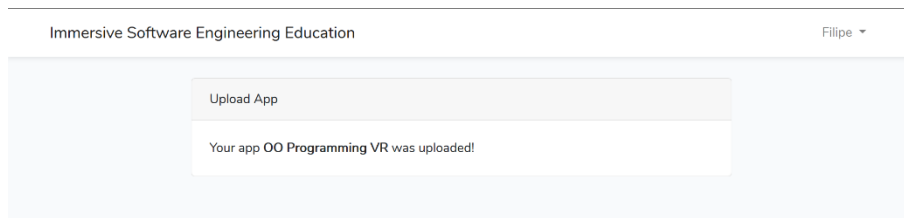
Os aplicativos são publicados por meio da interface do *Ambiente Web*. Após o cadastro e login como *Desenvolvedor*, o registro e *upload* do aplicativo são realizados, conforme mostram a Figura 21 e Figura 22, respectivamente.



The screenshot shows a web interface for 'Immersive Software Engineering Education' with a user profile 'Filipe'. A 'Register App' form is displayed with the following fields:

- App Name:** OO Programming VR
- Description:** This app turns the coding task into an immersive and engaging experience.
- Picture:** A file selection field showing 'learn-code-...167295.jpg'.
- File:** A file selection field showing 'OOProgrammingVR.zip'.
- Upload:** A blue button to submit the application.

Figura 21. Tela de registro da aplicação imersiva



*Figura 22. Aplicativo registrado*

### **5.3.2. Aplicações Imersivas**

Na Plataforma iSEE, uma aplicação imersiva é um software criado por desenvolvedores com o objetivo de apoiar o ensino de ES por meio de tecnologias imersivas. Considerando os fatores objetivos e subjetivos do *framework* iSEE, pode ocorrer que diversas aplicações abordem o mesmo tópico de ES, porém com dispositivos, graus de imersão, plataformas imersivas distintas. Com o intuito de solucionar este problema, a Plataforma iSEE fornecerá mecanismos de busca detalhada para facilitar na seleção da aplicação imersiva mais adequada.

Para efeito de prova de conceito da Plataforma iSEE, foram desenvolvidas aplicações imersivas independentes que serão apresentadas a seguir.

#### **5.3.2.1. OO Game VR**

O jogo *Object-Oriented Game in Virtual Reality* (OO Game VR) foi implementado com a dinâmica de criar desenhos tridimensionais a partir de elementos primitivos do tipo cubo e esfera, utilizando um diagrama de classes UML. Por exemplo, para criar um cubo, primeiramente, deve-se criar uma classe do tipo cubo e instanciar um objeto desta classe. Logo em seguida, um cubo tridimensional aparece no mundo virtual. Portanto, para que o usuário crie seu desenho, obrigatoriamente, deve criar classes e instanciar quantos elementos quiser. Uma vez instanciados os objetos em um tamanho, formato, posição e cor padrão, o usuário pode realizar as modificações que desejar. No entanto, como no paradigma de orientação a objetos, as propriedades e estado do objeto são estabelecidos por meio dos atributos da classe e as ações por meio de métodos. A aplicação OO Game VR estabelece que a modificação do estado de um objeto deve ser realizada após a implementação de atributos e métodos em uma classe. Sendo assim, o usuário deverá acrescentar à classe quais atributos e métodos devem ser inseridos para mudar o estado do objeto. A partir deste mecanismo, o usuário pode criar vários objetos do tipo cubo e esfera, com tamanhos, formatos, posições e cores, a fim de compor seu



desenho e, simultaneamente, aprender sobre os fundamentos do paradigma de orientação a objetos. A Tabela 8 apresenta os fatores objetivos e subjetivos da aplicação baseados no *framework* iSEE.

Tabela 8. Fatores objetivos e subjetivos da aplicação OO Game VR

Fatores/Aplicação	OO Game VR
FO1	Visualização imersiva em 360°, áudio e interação com as duas mãos
FO2	Oculus Rift e Oculus Touch
FO3	Realidade Virtual
FO4	Oculus
FO5	Uso de <i>ray-casting</i> para selecionar os objetos virtuais e botões do Oculus Touch para ativar funcionalidades específicas
FO6	As classes são representadas por meio diagramas de classes da UML e os objetos são representados de acordo com a forma geométrica escolhida
FS1	Construção de Software
FS2	Programação e <i>Design</i>
FS3	Aprendizagem baseada em jogos
FS4	Engajar o usuário na construção de desenhos virtuais tridimensionais, inspirado no Minecraft <sup>21</sup>
FS5	Iniciante em programação orientada a objetos
FS6	Qualquer ambiente que não interrompa a experiência imersiva

A aplicação foi desenvolvida com o *game engine* Unity 3D e implementado para ter compatibilidade com o dispositivo imersivo Oculus Rift. Este dispositivo é composto por *headset*, um par de controles, denominado Oculus Touch e sensores de movimento, conforme mostra a Figura 8.



Figura 23. Oculus Rift e seus componentes

<sup>21</sup> <https://www.minecraft.net/en-us/>

O Oculus Touch proporciona oito formas de interação para cada mão, considerando botões e sensores. No entanto, as funcionalidades do protótipo foram implementadas utilizando os botões *thumbstick*, gatilho, agarrar e botão A, como pode ser visto na Figura 24. A Tabela 9 mostra a relação entre as funcionalidades e as formas de interação com o Oculus Touch. A seção a seguir apresenta um exemplo de uso do protótipo.

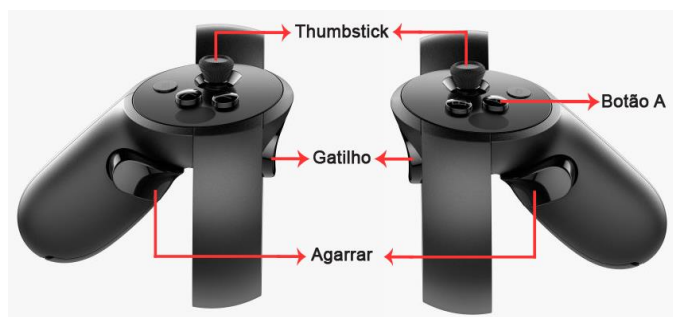


Figura 24. Botões do Oculus Touch utilizados no OO Game VR

Tabela 9. Mapeamento entre as funcionalidades do OO Game VR e as formas de interação

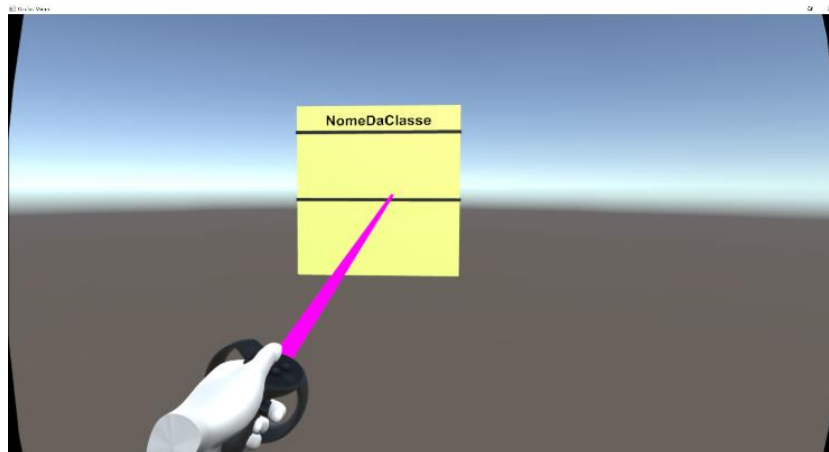
Funcionalidades	Formas de interação
Acessar o menu principal	Pressionar o botão A
Ativar o raio laser ou clicar	Pressionar o botão <i>gatilho</i>
Movimentar classe UML	Apontar com o raio laser para a classe, pressionar e segurar o botão <i>agarrar</i> e movimentar o <i>thumbstick</i>
Acessar as propriedades da classe/objeto	Apontar com o raio laser para classe/objeto e pressionar o botão <i>gatilho</i>

Ao iniciar a execução do protótipo, o usuário se depara com um mundo virtual, visualizando somente suas mãos representadas pelo avatar. Ao acionar o menu principal, os dois elementos primitivos, cubo e esfera, são mostrados. Ao clicar no cubo, por exemplo, aparece uma classe UML, conforme Figura 25. Uma das vantagens do mundo virtual é a exploração da tridimensionalidade do ambiente. Na aplicação, o usuário pode movimentar a classe UML para melhorar a visualização das classes e dos objetos que são instanciados. Para isto, basta o usuário apontar para a classe, pressionar e segurar o botão *agarrar* e movimentar o *thumbstick*, conforme a Tabela 9. A Figura 26 mostra este exemplo de interação.



*Figura 25. Menu principal da aplicação OO Game VR*

Ao clicar na classe, as propriedades da classe são acionadas e o usuário pode escolher quais serão os atributos e instanciar objetos, conforme mostra a Figura 27. Por padrão, o usuário pode escolher até quatro atributos: cor, posição, rotação e tamanho. Na Figura 28, escolheu-se cor, posição e tamanho como atributos da classe e em seguida foi instanciado um objeto do tipo cubo.



*Figura 26. Classe UML do elemento primitivo cubo*

Após escolher os atributos e instanciar o objeto, um elemento visual na forma de cubo aparece no ambiente e a classe é atualizada com os atributos. O OO Game VR adiciona automaticamente um método para cada atributo, neste caso, os métodos *mudarCor()*, *mudarPosicao()* e *mudarTamanho()*. Isso reforça a ideia de que atributos devem ser acessados por meio de métodos, conforme preconiza o paradigma de orientação a objetos.



Figura 27. Menu das propriedades da classe selecionada

Depois da definição dos atributos, métodos e instanciação do objeto, o usuário pode mudar o estado do objeto no menu propriedades, conforme mostra a Figura 29. O menu é acionado quando o usuário aponta para o cubo e aperta o botão gatilho. Nas propriedades do objeto, são exibidas opções para o usuário escolher e mudar o estado do objeto. Por exemplo, para mudar a cor, o usuário deve escolher uma dentre as oito opções de cores. Para mudar a posição do objeto instanciado, o usuário pode interagir com o botão “-” para diminuir e “+” para aumentar um valor em cada eixo  $x$ ,  $y$  e  $z$ . Desta maneira, para mover o cubo à esquerda, o usuário deve clicar no botão “-” do eixo  $x$  até chegar na posição adequada. As mesmas ações são repetidas para o atributo tamanho. Uma vez que a classe pode instanciar diversos objetos, em qualquer momento, é possível alterar os atributos da classe. Na Figura 30, o usuário acrescentou o atributo rotação e depois alterou os valores de rotação para cada objeto.



Figura 28. Seleção de atributos e instanciação de um objeto

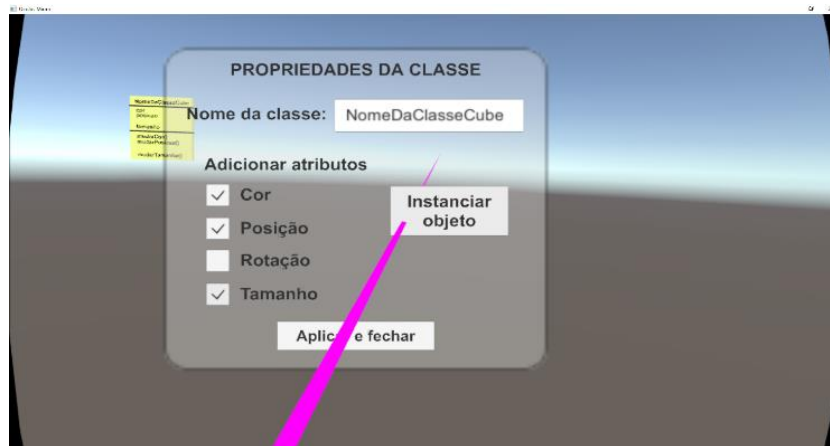


Figura 29. Menu das propriedades de um objeto

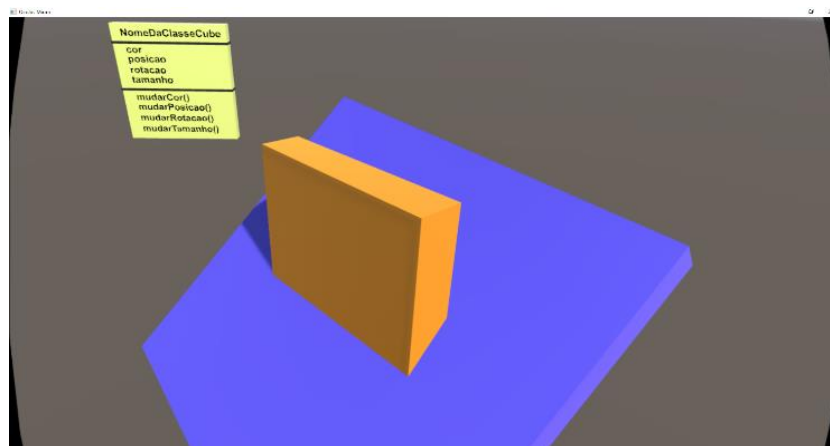


Figura 30 – Objetos com estados mudados após acessar as propriedades do objeto

### 5.3.2.2. OO Programming VR

A aplicação OO Game VR, como visto anteriormente, tem como objetivo apoiar o ensino de conceitos teóricos sobre orientação a objetos de forma lúdica. Contudo, a proposta da aplicação *Object-Oriented Programming in VR* (OO Programming VR) é proporcionar uma experiência imersiva e engajar o usuário durante a programação de código orientado a objetos. A Tabela 10 apresenta os fatores objetivos e subjetivos da aplicação baseados no *framework* iSEE.

OO Programming VR foi resultado de um projeto de iniciação científica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais (IF Sudeste MG), intitulado “Desenvolvimento de Aplicação Imersiva para o Apoio ao Ensino de Programação Orientada a Objetos”. Iniciado em agosto de 2019, o projeto em andamento conta com um bolsista sob orientação do pesquisador desta proposta de tese de doutorado.

A principal ideia desta aplicação é apoiar a compreensão durante a programação orientada a objetos por meio de visualizações tridimensionais e imersivas. Tradicionalmente, a codificação é realizada utilizando-se IDEs ou editores de código, cuja interface é baseada em WIMP<sup>22</sup>. Múltiplas janelas e arquivos em tela dificultam a compreensão da execução de código, considerando os conceitos envolvidos pelo paradigma de orientação a objetos, tais como instanciação de objetos, herança, polimorfismo, chamada de métodos, dentre outros. OO Programming VR proporciona visualizações integradas entre código e diagramas UML em tempo de execução por meio de ambiente virtual tridimensional e ilimitado.

Tabela 10. Fatores objetivos e subjetivos da aplicação OO Programming VR

Fatores/Aplicação	OO Programming VR
FO1	Visualização imersiva em 360°, áudio e interação com as duas mãos
FO2	Oculus Rift e Oculus Touch
FO3	Realidade Virtual
FO4	Oculus
FO5	Uso de <i>ray-casting</i> para selecionar os objetos virtuais, botões do Oculus Touch para ativar funcionalidades específicas e uso de teclado virtual
FO6	Visualizações integradas entre código e diagramas UML em tempo de execução por meio de ambiente virtual tridimensional e ilimitado
FS1	Construção de Software
FS2	Programação e Design
FS3	Aprendizagem baseada em problemas
FS4	Criar representações gráficas confortáveis, bem como sons que produzem ambientação e motivação com o usuário, similarmente às aplicações de entretenimento
FS5	Iniciante em programação orientada a objetos
FS6	Qualquer ambiente que não interrompa a experiência imersiva

### 5.3.2.3. Requeriments VR

A elicitación de requisitos é considerada como a parte mais crítica no desenvolvimento de software, pois a qualidade do produto final depende fortemente da qualidade dos requisitos elicitados (FERGUSON & LAMI, 2006). Pesquisas apontam que 85% dos problemas de software têm origem na atividade de elicitación de requisitos (FERNANDES, João M., MACHADO, *et al.*, 2009). Portanto, para evitar fracassos em projetos de desenvolvimento de software, é fundamental que existam profissionais

<sup>22</sup> Estilo de interação entre humano e computador usando os elementos janela, ícone, menu e mouse (GNECCO *et al.*, 2012).

treinados no processo de Engenharia de Requisitos e que sejam capazes de realizar a elicitação de requisitos com qualidade.

Neste sentido, o objetivo da aplicação Requirements VR é apoiar o processo de elicitação de requisitos, no qual é indispensável e importante para a qualidade e êxito de sistemas de software. A Tabela 11 apresenta os fatores objetivos e subjetivos da aplicação baseados no *framework* iSEE.

Requirements VR também é um projeto de iniciação científica do IF Sudeste MG intitulado “Desenvolvimento de Aplicação Imersiva para o Apoio ao Ensino de Engenharia de Requisitos de Software”. O projeto em andamento iniciou em agosto de 2019 e conta com dois bolsistas, que são orientados pelo pesquisador desta proposta de tese de doutorado.

Requirements VR é uma experiência virtual imersiva e engajadora com o objetivo de conscientizar a importância da Engenharia de Requisitos, mostrando que quando as etapas do processo de Engenharia de Requisitos não são realizadas corretamente, dificilmente o resultado final do projeto atenderá às expectativas do cliente.

*Tabela 11. Fatores objetivos e subjetivos da aplicação Requirements VR*

<b>Fatores/Aplicação</b>	<b>Requirements VR</b>
FO1	Visualização imersiva em 360°, áudio e interação com as duas mãos
FO2	Oculus Rift e Oculus Touch
FO3	Realidade Virtual
FO4	Oculus
FO5	Uso de <i>ray-casting</i> para selecionar os objetos virtuais e botões do Oculus Touch para ativar funcionalidades específicas
FO6	Simulação de um ambiente real de desenvolvimento de software
FS1	Requisitos de Software
FS2	Elicitação de Requisitos de Software e Análise de Requisitos de Software
FS3	Aprendizagem baseada em jogos
FS4	Proporcionar a sensação de estar em um ambiente com seu cliente e possibilitar uma conversa, a fim de que os requisitos possam ser elicitados
FS5	Iniciante em requisitos de software
FS6	Qualquer ambiente que não interrompa a experiência imersiva

## 5.4. Considerações Finais

A comunidade de EES tem buscado meios de melhorar a qualidade das aulas de ES, as quais são massivamente teóricas e não conseguem prender a atenção dos alunos.

Desta forma, PBL, PrBL e GBL são abordagens que visam transformar aulas mais práticas e compatíveis com as principais tarefas de engenheiros de software: trabalhar em projetos e em equipes. A fim de apoiar esta experiência, 3DVLEs possuem vantagens aplicadas ao ensino de ES, tais como simular ambientes reais de desenvolvimento e permitir a interação e comunicação com outros usuários por meio de avatares, os quais estão distribuídos geograficamente.

No entanto, estes 3DVLEs não exploram os principais aspectos das tecnologias imersivas: imersão e senso de presença. Paralelamente, ao investigar a literatura técnica sobre iE, identificou-se vários *frameworks* com o propósito de auxiliar no desenvolvimento de aplicações educacionais imersivas. Na EES também é comum o uso de *frameworks* conceituais para auxiliar na utilização das melhores práticas de PBL, PrBL e GBL, por exemplo. Contudo, há na literatura técnica um *gap* no sentido de não ter um *framework* conceitual que apoie o planejamento do desenvolvimento de aplicações educacionais imersivas especificamente para ES, considerando os principais aspectos da iE, a fim de melhorar os resultados de aprendizagem.

Portanto, o objetivo deste capítulo foi apresentar uma proposta de tese que potencialize as experiências práticas de ensino através de tecnologias imersivas, a fim de desenvolver competências e habilidades de ES. A abordagem iSEE possui dupla contribuição à EES: (i) um *framework* para auxiliar no desenvolvimento de aplicações educacionais imersivas de ES, e (ii) uma plataforma tecnológica para hospedar estas aplicações e ajudar no fomento de uma comunidade da educação de ES baseada em experiências imersivas.

A proposta apresentada vem sendo refinada a partir de resultados de uma avaliação preliminar (Capítulo 6), bem como da análise de estudos primários encontrados em um estudo piloto de um Mapeamento Sistemático, que ainda está em evolução (Anexo III).



## Capítulo 6 – Avaliação Preliminar

### 6.1. Introdução

No Capítulo 4, foi apresentada a proposta de tese *Immersive Software Engineering Education* (iSEE), a qual tem como finalidade apresentar um *framework* teórico para auxiliar no desenvolvimento de aplicações educacionais imersivas de ES, bem como desenvolver a Plataforma iSEE para fomentar a utilização de tecnologias imersivas na EES.

Com o intuito de validar experiências imersivas no ensino de ES, foi realizada uma avaliação preliminar da aplicação OO Game VR, que faz parte da plataforma iSEE, apresentada na Seção 5.3.2.1, do ponto de vista de usabilidade de aplicações de RV. Esta avaliação também ajudou a evoluir o *framework* iSEE.

Detalhes desta avaliação está organizada como segue: a Seção 6.2 descreve como foi planejada a avaliação. A Seção 6.3 descreve o perfil dos participantes, apresenta os resultados da análise quantitativa e qualitativa, bem com as ameaças à validade. Por fim, o capítulo encerra com as conclusões da avaliação na Seção 6.4.

### 6.2. Método de Pesquisa

O objetivo da avaliação foi definido de acordo com a abordagem *Goal/Question/Metric* (GQM) (BASILI, 1994). Os objetivos, segundo essa abordagem, devem ser formulados conforme o template “Analisar o <objeto de estudo> com a finalidade de <objetivo> com respeito a <foco da qualidade> do ponto de vista de <perspectiva> no contexto de <contexto>”. Sendo assim, o objetivo da avaliação é: analisar a aplicação OO Game VR com a finalidade de identificar problemas de usabilidade em relação às heurísticas de usabilidade de aplicações de RV, do ponto de vista de especialistas no contexto de um ambiente controlado.

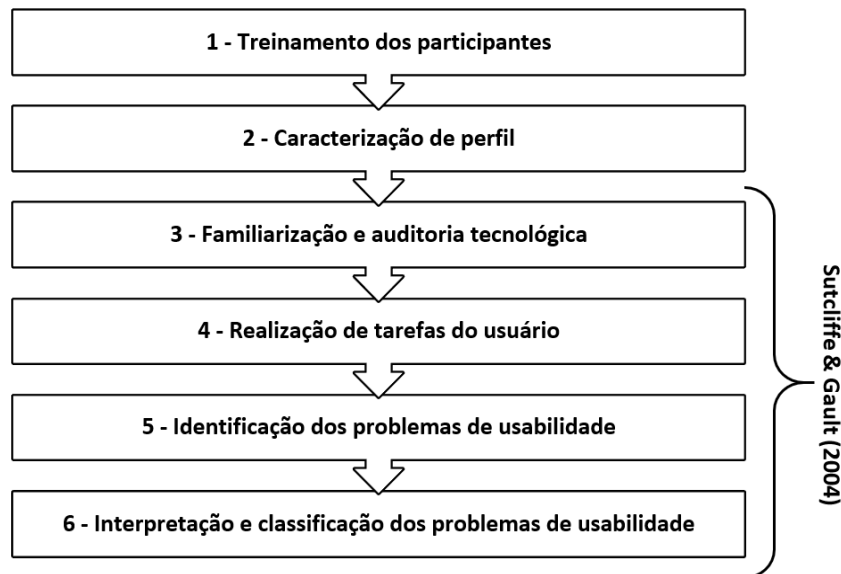
De acordo com o objetivo da avaliação, adotou-se como métrica as heurísticas para aplicações em RV propostas por SUTCLIFFE & GAULT (2004). As heurísticas são derivadas dos estudos de NIELSEN (1994) e sobre princípios de *design* de RV (SUTCLIFFE & KAUR, 2000). As heurísticas de NIELSEN (1994) formaram a base sobre a qual desenvolveu-se as heurísticas personalizadas de RV, algumas das quais têm

um mapeamento direto e outras com influência indireta. As heurísticas de usabilidade para aplicações em RV foram motivadas pela natureza característica dos mundos virtuais, em particular, a necessidade de interação intuitiva e a sensação de imersão, as quais são importantes para muitas aplicações de RV, pois visam simular a realidade da forma mais fiel possível (STONE, 2002). Os autores propuseram 12 heurísticas, as quais são apresentadas na Tabela 12.

*Tabela 12. Heurísticas de usabilidade para aplicações de RV*

#	Heurística	Descrição
H01	Engajamento natural	A interação deve se aproximar da expectativa do usuário de interação com o mundo real o máximo possível. O ideal é que não haja percepção de que a realidade é virtual. A interpretação desta heurística dependerá da exigência de naturalidade e a sensação de presença e engajamento do usuário.
H02	Compatibilidade com tarefas de usuário e domínio	O mundo virtual e o comportamento dos objetos devem corresponder o máximo possível às expectativas do usuário quanto aos objetos do mundo real; seus comportamentos; e <i>affordances</i> para realizar tarefas.
H03	Expressão natural da ação	A representação da presença em um ambiente de RV deve permitir que o usuário atue e explore de maneira natural e não restringir ações físicas normais. Se não há <i>feedback</i> tátil, a expressão natural, inevitavelmente poderá ser comprometida.
H04	Coordenação aproximada das ações e representação	A representação do senso de presença e comportamentos manifestados no mundo virtual deve ser fiel às ações do usuário. Tempo de resposta entre o movimento do usuário e atualização do <i>display</i> deve ser até 200 milissegundos para evitar problemas de enjoo, também conhecido como <i>motion sickness</i> .
H05	<i>Feedback</i> realista	O efeito das ações do usuário em objetos do mundo virtual deve ser imediatamente visível e estar em conformidade com as leis da física e as expectativas de percepção do usuário.
H06	Pontos de vista fiéis	A representação visual do mundo virtual deve mapear a percepção normal do usuário e a mudança de ponto de vista pelo movimento da cabeça deve ser renderizada sem demora.
H07	Suporte à navegação e orientação	Os usuários devem ser capazes de se localizarem no mundo virtual e retornar para posições conhecidas e pré-definidas.
H08	Pontos claros de entrada e saída	Os meios de entrada e saída do mundo virtual devem ser claramente comunicados.
H09	Mudanças consistentes	As mudanças entre a interação virtual e a interação por meio da interface gráfica de usuário devem ser consistentes e claramente indicadas, por exemplo, a troca entre modos de interação e ações para navegação.
H10	Suporte para aprendizado	Objetos ativados devem ser sinalizados e, se necessário, explicados para promover o aprendizado dos mundos virtuais.
H11	Troca clara de autonomia	Onde houver iniciativas do sistema, deve ser claramente sinalizado e deve haver clareza no estabelecimento da tomada de vez, ou seja, o usuário deve perceber de maneira clara quando o sistema terá o controle de autonomia do mundo virtual.
H12	Senso de presença	A percepção do usuário de engajamento e parecer estar em um mundo "real" deve ser o mais natural possível.

As heurísticas de SUTCLIFFE & GAULT (2004) compõem alguns dos passos estabelecidos no protocolo de avaliação de usabilidade da aplicação imersiva. Como poder ser visto na Figura 31, a avaliação de usabilidade do protótipo é dividido em 6 etapas.



*Figura 31. Etapas da avaliação heurística*

A primeira etapa está relacionada com o treinamento dos participantes do estudo. Segundo NIELSEN (1994), é recomendável que a inspeção de problemas relacionados à usabilidade seja realizada por especialistas. Contudo, considerando o perfil dos participantes, que foram convidados a participar do estudo, foi realizado um treinamento sobre métodos de inspeção para detectar problemas de usabilidade. Sendo assim, os participantes estariam aptos a utilizarem as heurísticas de SUTCLIFFE & GAULT (2004), bem como a selecionarem e identificarem criteriosamente os problemas. O treinamento foi realizado com 6 participantes. Ao final do treinamento, os participantes foram convidados a iniciar a avaliação do protótipo a partir do dia seguinte.

No início de cada seção individual, os sujeitos preencheram o formulário de caracterização de perfil e, em seguida, iniciaram a avaliação heurística, de acordo com as etapas 3 a 5 da Figura 31.

A etapa de familiarização é quando o avaliador tem um primeiro contato com a aplicação que será avaliada. Neste estudo, cada sujeito foi informado do objetivo da aplicação, suas funcionalidades e ações de botões do Oculus Touch. Após ser instruído pelo pesquisador, autor desta proposta de tese, cada sujeito interagiu com a aplicação livremente, sendo ajudado pelo pesquisador quando solicitado. Em paralelo com a etapa

de familiarização, realizou-se a auditoria de tecnologia. Esta auditoria possui o objetivo de auxiliar o avaliador no que se pode esperar, dados os dispositivos interativos presentes e características de mundos virtuais. Esta auditoria auxilia na identificação de problemas para que sejam relatadas no momento adequado e relacioná-las às heurísticas. Enquanto o avaliador interage e se familiariza com o mundo virtual, observa-se a presença ou ausência de recursos nas categorias a seguir e os problemas associados:

- Operação da presença do usuário: o usuário pode ser representado no mundo virtual por um cursor simples ou mais comumente por uma mão ou um avatar de corpo inteiro. A presença pode ser controlada por uma variedade de dispositivos, desde *mouse* 3D, esfera espacial, *joystick* a luvas e, menos frequentemente, ternos de imersão em todo o corpo. A presença e os controles do usuário podem causar muitos problemas, pois fornecem uma renderização menos que perfeita da ação natural do usuário. A adequação da presença precisa ser julgada em relação à tarefa do usuário. Para navegação simples, nenhuma presença pode ser necessária; para manipulações, no entanto, uma mão virtual é geralmente necessária.
- Falta de *feedback* tátil: os verdadeiros protótipos virtuais não têm *feedback* tátil (sensação de toque), de modo que a presença do usuário pode passar por representações de objetos sólidos. Para atenuar a ausência de *feedback* tátil, muitos aplicativos usam *feedback* visual com algoritmos de detecção de colisão para solicitar aos usuários quando os objetos são selecionáveis ou foram selecionados. Problemas causados pela ausência de *feedback* tátil podem ser observados com manipulações complexas e tarefas físicas.
- Técnicas interativas: muitos mundos virtuais implementam controles que permitem que os usuários voem através de mundos virtuais para alcançar e selecionar objetos distantes. Isso pode ser levado adiante, fornecendo efeitos, para que os objetos próximos saltem automaticamente para a mão do usuário. Esses efeitos podem causar problemas de usabilidade quando mal projetados.
- Gráficos realistas: mundos virtuais podem não fazer jus à apresentação do protótipo, uma vez que a maioria das aplicações não são apresentadas em detalhes foto realistas. Embora algumas evidências sugiram que as pessoas possam executar tarefas naturalmente sem representações visuais

detalhadas (GABBARD e HIX, 1997), os detalhes gráficos serão importantes para exibições de informações e tarefas quando o ambiente do sistema for visualmente complexo.

Na etapa 4, cada participante concluiu um conjunto de tarefas típicas do usuário (Tabela 13), observando as dificuldades encontradas. Na próxima etapa, esses problemas são interpretados e relacionados com as heurísticas (Tabela 12) para avaliar e identificar problemas de usabilidade no mundo virtual inspecionado. Os problemas podem ser associados a mais de uma heurística e devem ser explicados detalhadamente.

*Tabela 13. Conjunto de tarefas do usuário*

#	Tarefas
T01	Acessar o menu principal
T02	Criar uma classe do tipo cubo
T03	Mudar a posição da classe no mundo virtual
T04	Acessar as propriedades da classe do tipo cubo
T05	Selecionar o atributo cor e tamanho
T06	Instanciar um objeto
T07	Acessar as propriedades do objeto instanciado
T08	Mudar a cor do objeto
T09	Mudar o tamanho do objeto
T10	Instanciar outro objeto da mesma classe criada
T11	Mudar a posição do novo objeto no mundo virtual

Ainda nesta etapa, uma vez que o participante tenha diagnosticado os problemas, atribuindo-os às heurísticas, o próximo passo é classificar a gravidade dos erros por heurística. Indicações da gravidade dos problemas identificados são dadas, variando de um *design* ruim com um impacto grave, que provavelmente resultaria em falha na tarefa, para um problema menor, provavelmente solucionado pelo treinamento. Essa classificação reflete o julgamento do avaliador sobre a gravidade desses erros, em uma escala de quatro pontos, a saber:

- Grave: o problema encontrado tornaria impossível concluir a tarefa com êxito;
  - Irritante: o problema interromperia a tarefa do usuário, mas a maioria dos usuários aprenderia como curar o erro dado uma explicação, e alguns poderiam encontrar uma solução alternativa com o tempo;
  - Distraindo: o problema interromperia as tarefas do usuário, mas a maioria dos usuários descobriria a correção com relativa rapidez, dada uma dica;
- e

- Inconveniente: o problema poderia atrapalhar a tarefa do usuário, mas a maioria dos usuários descobriria a correção sem ajuda.

A última etapa foi executada pelo pesquisador, na qual realizou-se uma análise das avaliações dos sujeitos e classificou-se os problemas identificados de acordo com classes de características de *design*, a saber:

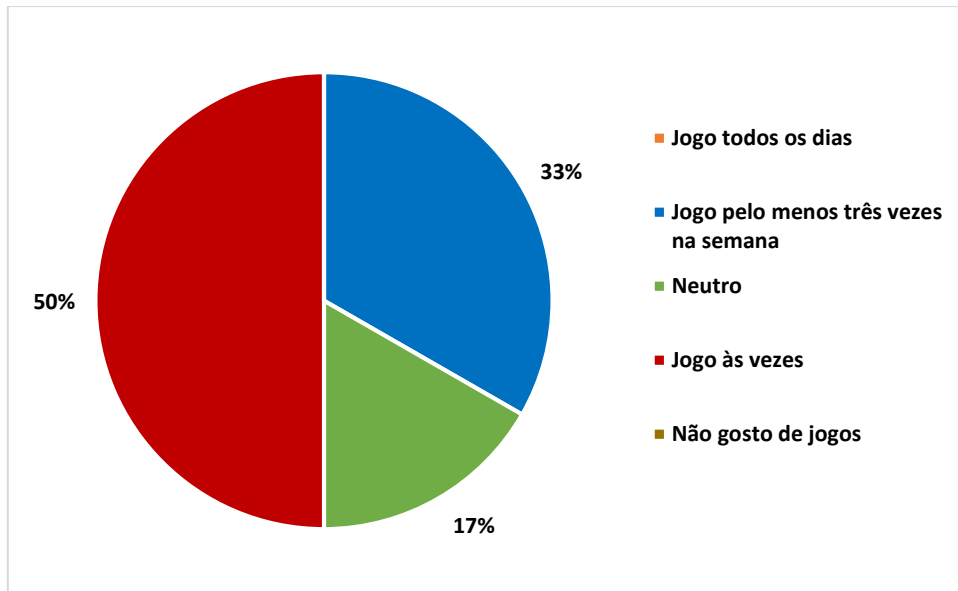
- Display gráfico, profundidade 3D ou distorção de perspectiva, baixa resolução de imagem. Indicado por dificuldades perceptivas.
- Movimentação e manipulação da presença do usuário, através de hardware e a representação do usuário no mundo virtual. Indicado por dificuldades de navegação e manipulação.
- Interação com objetos e ferramentas no mundo virtual. Indicado por tentativas frustradas de interação; ou feedback ruim.
- Recursos ambientais, ou seja, partes do mundo virtual que criaram efeitos inesperados, como mover-se pelas paredes e objetos flutuantes.
- Interação com outros controles, como menus flutuantes e paletas.
- Outros problemas de hardware, como o HDM (*Head-Mounted Display*).

### **6.3. Resultados da Avaliação Heurística**

#### **6.3.1. Perfil dos Participantes**

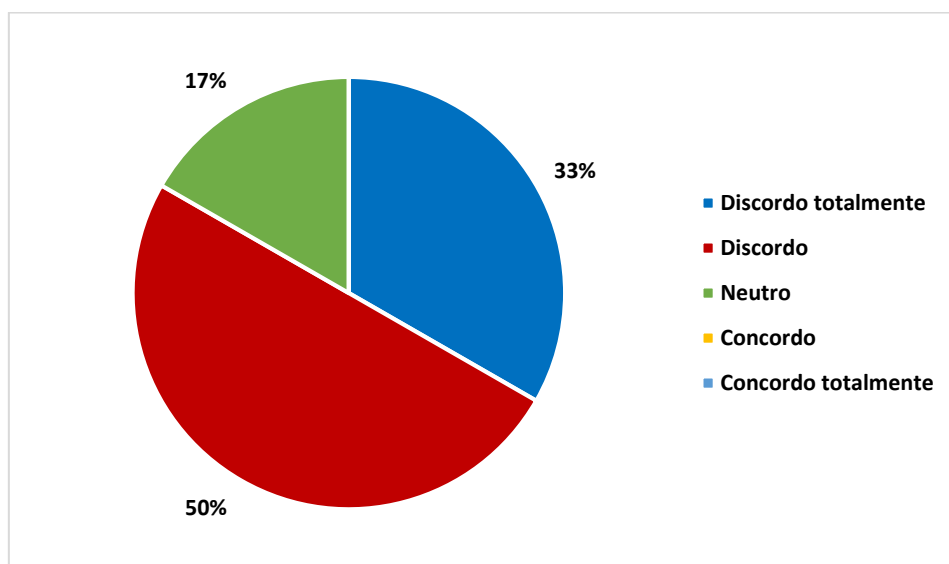
No presente estudo, participaram 6 alunos de um Curso Técnico em Informática de um Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Dentre eles, 66.7% possuem ensino médio completo e 33.3% não concluíram o ensino médio. Além disso, 83.3% são do sexo masculino e 16.7% do sexo feminino.

Do ponto de vista da frequência de interação com jogos e RV, metade dos participantes declararam que possuem rotina considerável em jogar, ao passo que 33.3% jogam pelo menos três vezes na semana, como pode ser visto na Figura 32. Além disso, todos os participantes já haviam interagido com aplicações de RV, tanto imersiva quanto não-imersiva.



*Figura 32. Frequência de interação com jogos*

Considerando que a aplicação OO Game VR foi desenvolvida para auxiliar no processo de ensino e aprendizagem sobre conceitos teóricos de orientação a objetos, os participantes responderam perguntas relacionadas a este tópico. Pôde-se constatar que grande parte dos participantes desconhecem os conceitos fundamentais sobre orientação a objetos e diagramas de classes UML, além de não desenvolverem em linguagem de programação orientada a objetos. A Figura 33 apresenta as respostas dos participantes em relação aos conceitos teóricos, a Figura 34 sobre conhecimentos em diagramas de classes UML e desenvolvimento em linguagem orientada a objetos na Figura 35.



*Figura 33. Conhecimento sobre o paradigma de orientação a objetos*

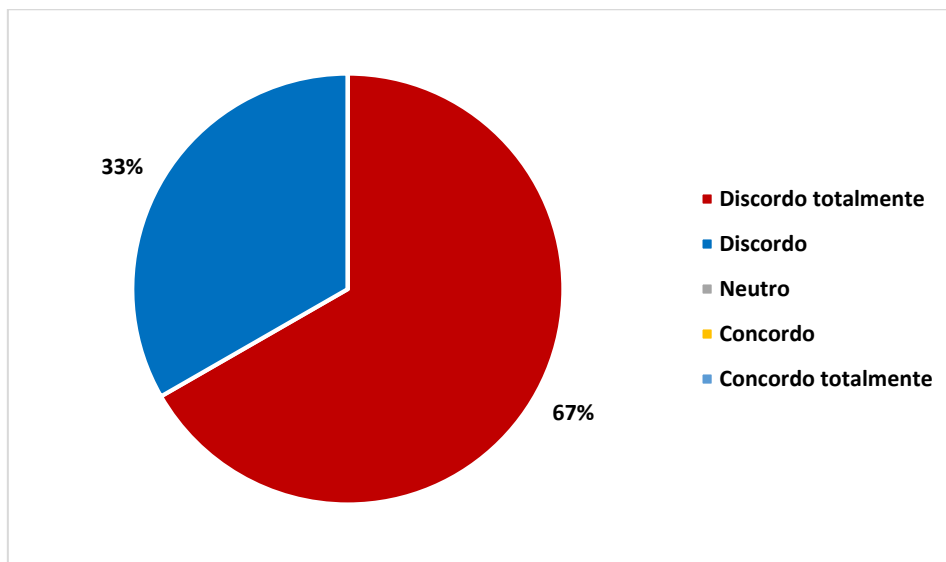


Figura 34. Conhecimento sobre diagramas de classe UML

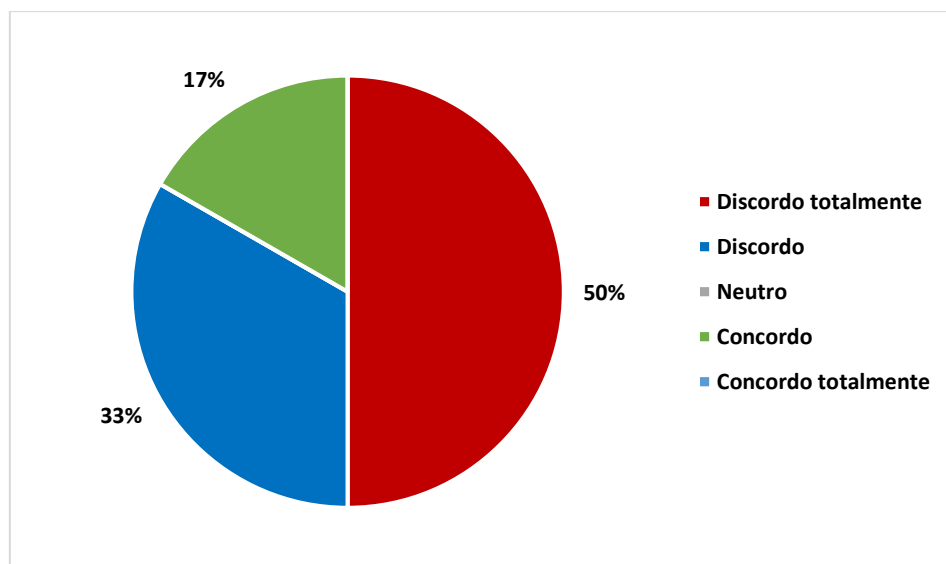
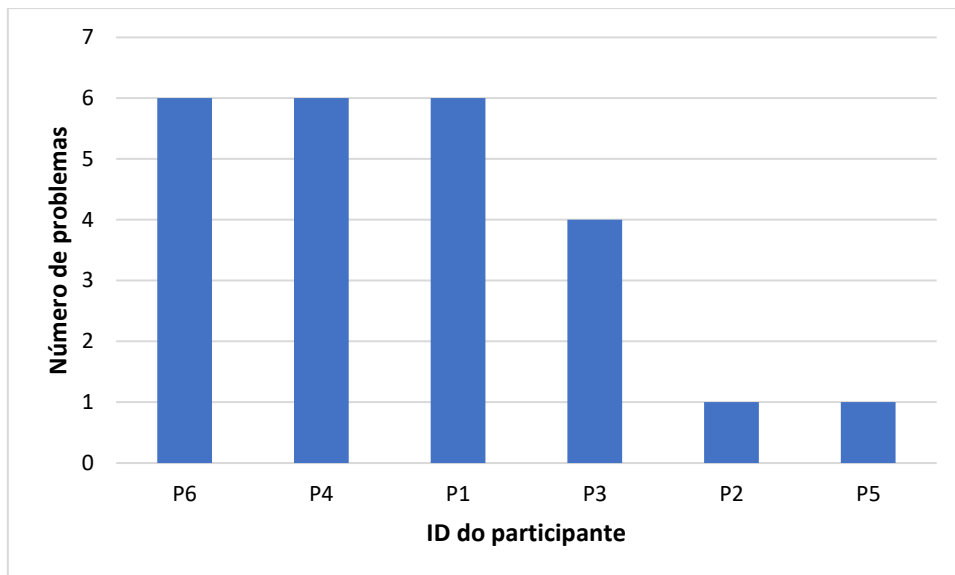


Figura 35. Conhecimento sobre programação orientada a objetos

### 6.3.2. Análise Quantitativa

A avaliação resultou em 22 problemas instanciados, ou seja, o total de problemas encontrados pelos 6 sujeitos que participaram da avaliação, sem distinção de problemas repetidos entre os participantes. A Figura 36 representa o número de instâncias de problemas por participante, na qual 50% dos participantes encontraram 6 problemas de usabilidade.





*Figura 36. Número de problemas instanciados por participantes*

Considerando as 12 heurísticas e os problemas instanciados, a Figura 36 representa a frequência de problemas instanciados por heurística. Do ponto de vista dos participantes, a heurística mais crítica está relacionada com a expressão natural da ação (H03), correspondendo a 25% dos problemas instanciados. Nesta heurística, os principais problemas relatados são pelo fato de o avatar não se locomover no mundo virtual e de não ter *feedback* visuais ou sonoros ao selecionar os objetos. Em seguida, 21% dos problemas de usabilidade referem-se aos meios de entrada e saída do mundo virtual (H08). Por se tratar de um protótipo, o desenvolvimento do OO Game VR concentrou-se nos aspectos básicos de ensino de orientação a objetos. Nesta heurística, todos os participantes detectaram que a falta de aviso ao entrar e ao sair da aplicação é um problema e deve ser corrigido. O suporte ao aprendizado (H10) possui uma representatividade de 17% dos problemas instanciados. Foram indicados que o protótipo deveria possuir mecanismos para ensinar ao usuário como manipular e interagir com o mundo virtual, podendo ser por meio de um tutorial e 13% dos problemas estão relacionados com o suporte à navegação e orientação (H07).

Ao identificarem os problemas por heurística, os participantes também indicavam o grau de severidade. De acordo com a Figura 37, apenas 14% das heurísticas foram classificadas como grave. A aplicação possui maior criticidade em relação ao suporte à navegação e orientação (H07), sinalização dos meios de entrada e saída do mundo virtual (H08) e suporte ao aprendizado (H10). Das heurísticas indicadas como distraindo,

destacam-se H01, H03, H05, H07, H09 e H10. A Figura 38 mostra a frequência dos graus de severidade por heurística.

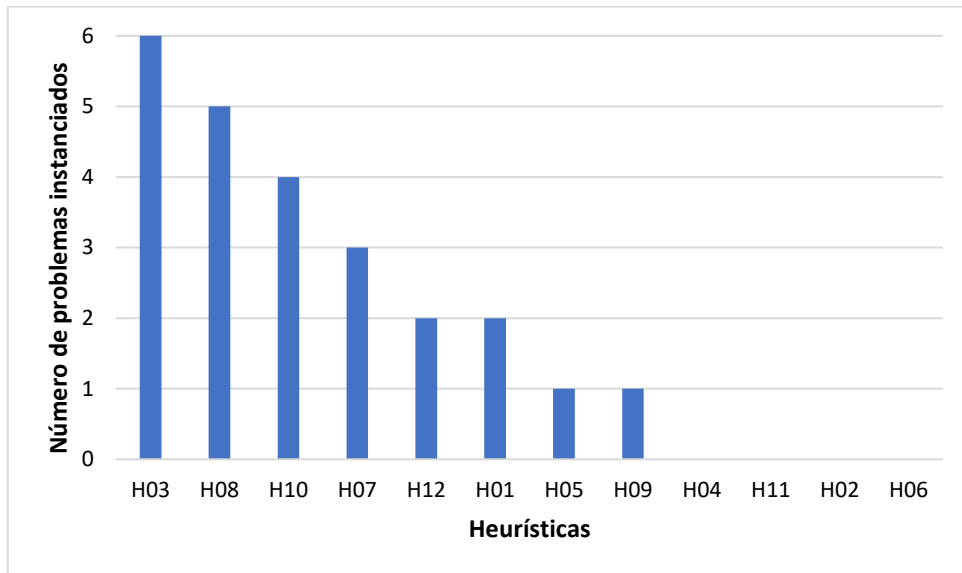


Figura 37. Frequência de problemas por heurística

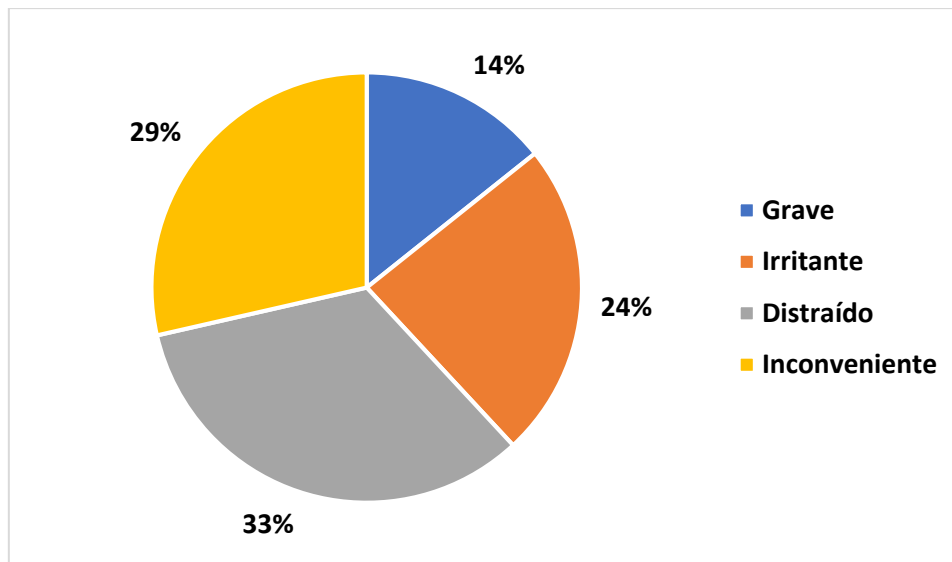


Figura 38. Graus de severidade

Os 22 problemas instanciados foram agrupados em 9 problemas identificados, ou seja, problemas únicos, conforme mostra a Tabela 14. De acordo com a Figura 39, os problemas relacionados a não movimentação do avatar (PID02), bem como a ausência de avisos ao entrar e sair da aplicação (PID06), foram reportados por 83% dos sujeitos. Os problemas PID03 e PID07 correspondem a 67% e 50%, respectivamente.

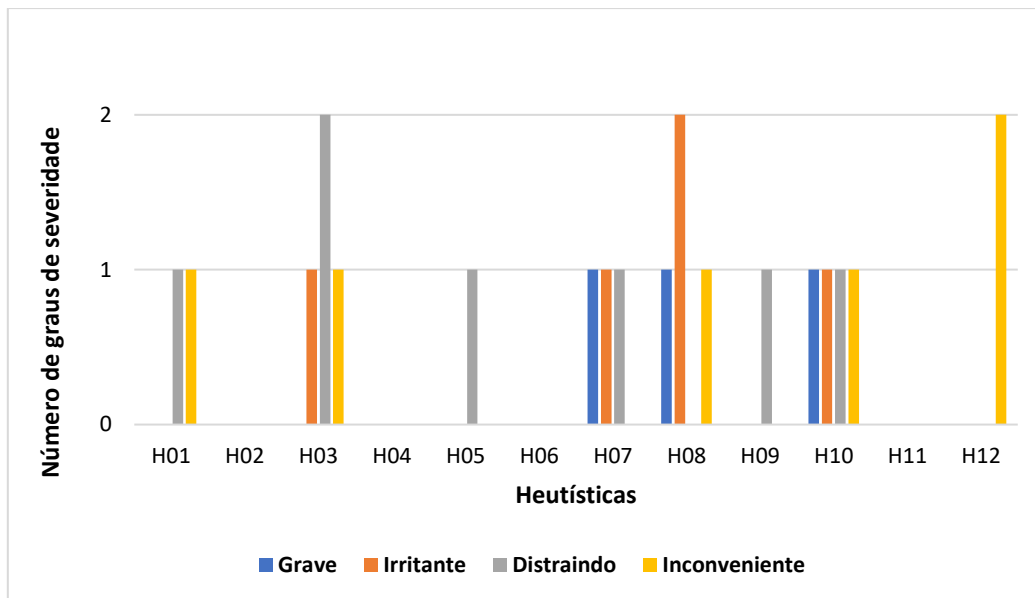
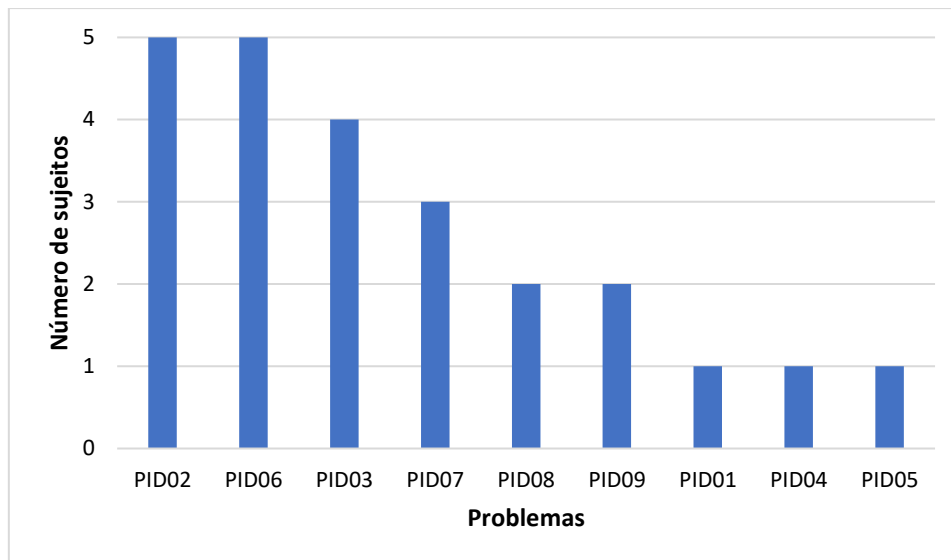


Figura 39. Frequência dos graus de severidade por heurística

Tabela 14. Problemas identificados

ID Problemas Identificados	Descrição
PID01	Mundo virtual não é realista e pouco imersivo
PID02	Locomoção limitada do avatar
PID03	Sem feedback quando há interação com alguns objetos do mundo virtual
PID04	Limitação do raio laser na interação com objetos
PID05	Sobreposição dos objetos instanciados (cubo ou esfera)
PID06	Sem avisos ao entrar e sair do mundo virtual
PID07	Sem mecanismos para auxiliar na utilização do mundo virtual
PID08	O raio laser não seleciona objetos em primeiro plano
PID09	Avatar não é realista

Uma vez identificados os problemas únicos da aplicação, foi realizada uma análise para classificar os problemas em classes de característica de *design*. Dos 9 problemas identificados, 45% foram classificados como problemas relacionados à interação com objetos e ferramentas, ou seja, quando as tentativas de interação com o mundo virtual são frustradas ou o *feedback* é ruim, como mostra a Figura 40. As classes movimentação, manipulação e presença do usuário, bem como recursos ambientes, correspondem a 22% dos problemas, respectivamente. Apenas 11% referem-se à qualidade gráfica da aplicação.



*Figura 40. Frequência de problemas identificados*

### 6.3.3. Análise Qualitativa

A aplicação OO Game VR possui o objetivo de apoiar na compreensão de conceitos de orientação a objetos, os quais são complexos e abstratos. Considerando os perfis dos sujeitos, apesar de não possuírem conhecimentos em orientação a objetos, todos conseguiram concluir as tarefas de usuário (Tabela 13).

Apesar da H03 ter sido indicada como a heurística mais crítica entre os problemas instanciados, não foi classificada com grau de severidade grave. No entanto, ela foi indicada por dois sujeitos com severidade “distraindo” e um sujeito indicou como “inconveniente” e outro como “irritante”, como mostra a Figura 38. Além disso, pode-se perceber que, dentre as heurísticas problemáticas, grande parte delas foram classificadas com graus de severidade distintos. Já as heurísticas H05, H09 e H12 receberam os mesmos graus. Contudo, a fim de homogeneizar o resultado dos graus de severidade por heurística e auxiliar na identificação das mais críticas, foi atribuído a cada grau um peso; variando do grau menos crítico com valor 1 para o mais crítico com valor 4. Como resultado, as heurísticas H10, H07, H03 e H08 possuem os mais críticos graus de severidade, conforme mostra a Figura 42.

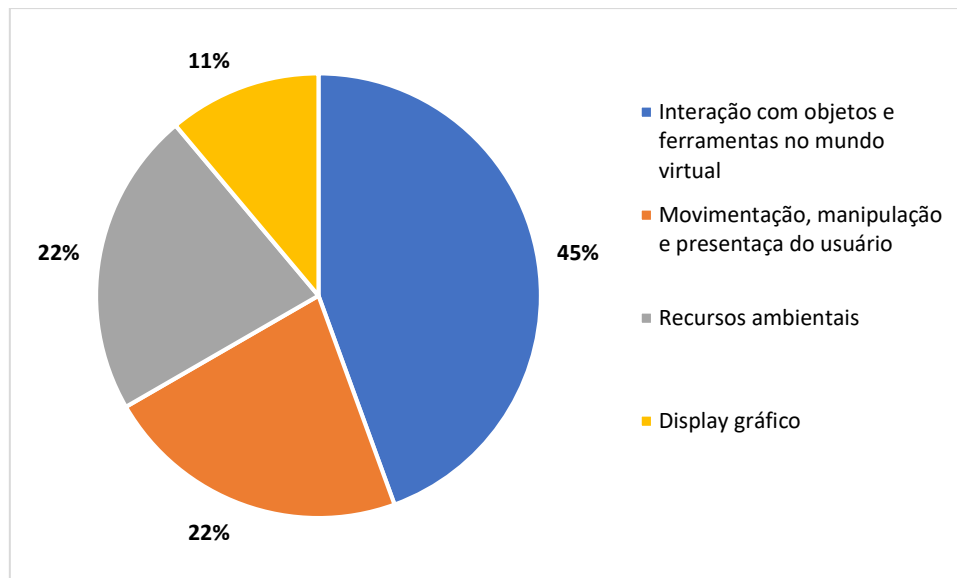


Figura 41. Problemas identificados por características de design

O objetivo da avaliação é identificar problemas de usabilidade de acordo com as heurísticas propostas por SUTCLIFFE & GAULT (2004). Nesta avaliação, a aplicação não apresentou problemas de usabilidade em relação às heurísticas H02, H04, H06 e H11. Considerando que o usuário deve criar desenhos tridimensionais a partir de elementos primitivos (cubo e esfera), o comportamento dos objetos no mundo virtual, bem como os *affordances*, são parecidas com ações no mundo real, possibilitando a realização das tarefas (H02). Em algumas aplicações os usuários podem apresentar problemas de enjoo, mais conhecido como *motion sickness*. Este problema é causado pelo atrasado de *feedback* da aplicação para o usuário. Por exemplo, ao utilizar um *headset* imersivo, o tempo entre o movimento da interação do usuário e a atualização do *display* deve ser de até 200 milissegundos. Todos os participantes concordaram que a aplicação não apresentou este tipo de problema (H04). A H06 compreende na percepção dos elementos no mundo virtual, bem como na mudança de ponto de vista do avatar. Como a aplicação não implementou este tipo de recurso, não foram apresentados problemas desta natureza. Por fim, H11 também não apresentou problemas, pois não foi implementada a funcionalidade da aplicação assumir o controle.

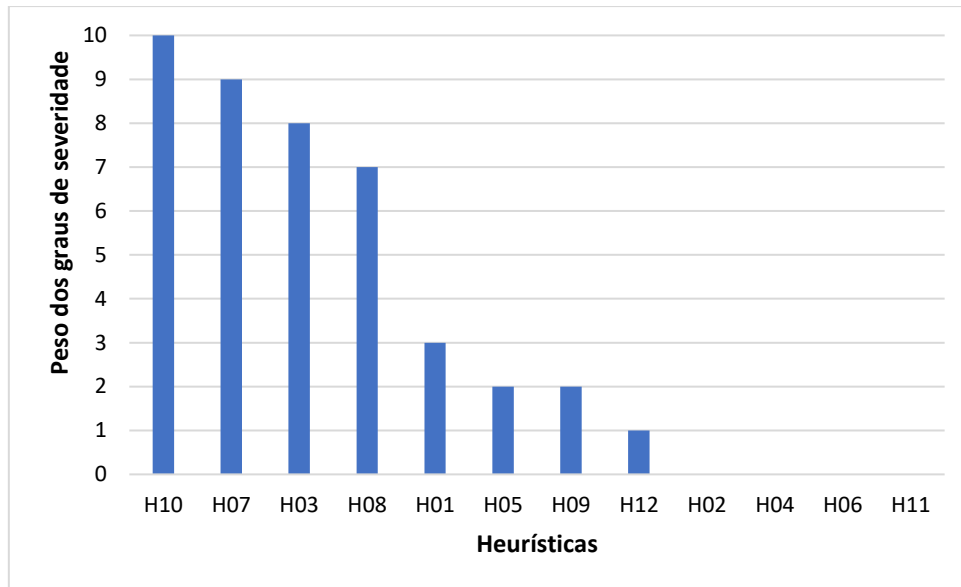


Figura 42. Peso dos graus de severidade por heurística

#### 6.3.4. Ameaças à Validade

A validade de um experimento está relacionada ao nível de confiança que pode ser fornecido no processo de pesquisa experimental como um todo. Em outras palavras, quão confiáveis são os elementos envolvidos nesse processo - desde a base teórica adotada até os resultados obtidos, incluindo como eles são apresentados, considerando construção, interno, construção e validade externa (BASILI, 1994) . Neste trabalho, dois tipos de ameaças à validade foram identificados:

- *Validade externa:* refere-se à capacidade de generalizar os resultados do experimento. Apesar do pequeno número de participantes que realizaram a avaliação, a captura de problemas de usabilidade com 4 a 5 avaliadores treinados é suficiente (NIELSEN, 1994). No entanto, a experiência de cada avaliador pode ser considerada uma ameaça, considerando que todos eles concluíram apenas um treinamento.
- *Validade interna:* refere-se à capacidade de tirar conclusões sobre os resultados obtidos. Embora os participantes tenham declarado que não tinham conhecimento em POO, eles foram capazes de executar todas as tarefas do usuário. No entanto, indivíduos com habilidades em POO teriam maior capacidade de criticar o aplicativo desenvolvido.

#### 6.4. Considerações Finais

Uma das principais contribuições deste capítulo foi a discussão dos resultados da avaliação heurística de usabilidade da aplicação OO Game VR, com base na avaliação heurística do método de aplicações de RV (SUTCLIFFE & GAULT, 2004). Considerando que aplicativos e dispositivos imersivos não são comuns, foi decidido executar esse tipo de método de avaliação com um conjunto mínimo de requisitos de aplicativo, a fim de identificar problemas de usabilidade e gerar uma versão do aplicativo corrigido.

Como trabalhos futuros, além da correção de problemas de usabilidade, novas funcionalidades serão implementadas, como herança e relacionamento entre classes, e experimentos controlados serão conduzidos para medir a correlação do grau de imersão com o ganho de aprendizado. Além disso, estas evidências foram importantes na definição dos fatores objetivos e subjetivos do *framework*, principalmente nos aspectos sobre técnicas de visualização e interação com o ambiente virtual, uma vez que o protótipo desenvolvido focou na qualidade de imersão do dispositivo e nos objetivos de aprendizagem de ES, especificamente no aprendizado de conceitos sobre o paradigma de orientação a objetos.

## Capítulo 7 – Conclusão

### 7.1. Principais Contribuições

Este trabalho oferece contribuições em diferentes áreas de pesquisa. Em relação à área de AI, foi conduzido uma RR com o objetivo de caracterizar o uso de tecnologias imersivas como instrumentos de apoio no processo de ensino e aprendizagem, bem como o treinamento de habilidades. Este estudo secundário ajuda a observar o histórico de publicações, as principais áreas do conhecimento, das abordagens e teorias pedagógicas, os dispositivos utilizados para proporcionar RV não imersiva, RV imersiva e RM, bem como os principais indicadores utilizados para obter indícios sobre a influência da experiência imersiva na melhoria dos resultados de aprendizagem. Esta revisão também ajuda aos pesquisadores a construir um entendimento comum dos desafios que devem ser enfrentados, como é o caso da escassez de um método que auxilie no desenvolvimento de aplicações educacionais imersivas, de forma que considere os principais conceitos, tais como imersão, senso de presença, qualidades dos dispositivos, abordagens pedagógicas, resultados de aprendizagem a serem alcançados, dentre outros. Estes achados também são pertinentes à comunidade de Realidade Virtual e Aumentada.

Para a pesquisa de EES, esta proposta de tese pode ser considerada como um método disruptivo de ensino de ES, pois visa contribuir para a quebra de paradigma no formato das aulas, principalmente em universidades, das quais ainda são expositivas e com pouca utilização de métodos ativos de aprendizagem. Espera-se que o *framework* teórico e a Plataforma iSEE possam contribuir no fomento de uma comunidade que adote experiências imersivas como a linha condutora na melhoria dos resultados de aprendizagem de ES, bem como auxiliar o desenvolvimento de aplicações educacionais imersivas de ES, por considerar principais aspectos na produção de experiências imersivas para fins pedagógicos na área.

### 7.2. Método de Pesquisa

O método de pesquisa utilizado para a realização deste trabalho inclui atividades realizadas antes da proposta de tese, para apoiar a elaboração da proposta, e atividades a serem realizadas após o exame de qualificação, para permitir o desenvolvimento e a conclusão da pesquisa proposta.



### **7.2.1. Atividades Realizadas**

As atividades realizadas antes da proposta de tese e que apoiaram a sua elaboração e refinamento são apresentadas a seguir.

#### **7.2.1.1. Revisão *ad-hoc* da Literatura**

Esta atividade representa uma revisão *ad-hoc* da literatura sobre algumas das principais áreas envolvidas na pesquisa: Educação de Engenharia de Software, Realidade Virtual e Aumentada e Aprendizagem Imersiva.

No início desta atividade foram encontrados vários estudos primários que relatavam sobre o uso de tecnologias imersivas para apoiar o ensino e treinamento em diversas áreas do conhecimento, porém poucos trabalhos no ensino de ES. Durante a revisão, identificou-se a Aprendizagem Imersiva como uma recente área de pesquisa. Adicionalmente, reconheceu-se que os termos como imersão, senso de presença, estado de *flow*, engajamento, dentre outros, não possuem definições consolidadas na literatura técnica. Estes achados ajudaram na motivação da execução de estudos secundários, bem como na elaboração desta proposta de tese.

#### **7.2.1.2. Revisão Rápida da Literatura**

Considerando a identificação da AI como uma nova área de pesquisa, bem como a ambiguidade na definição de termos, iniciou-se o desenvolvimento de um protocolo de mapeamento sistemático da literatura (Anexo III). O objetivo era obter evidências empíricas sobre esta recente área através de três principais questões de pesquisa: (i) qual(is) a(s) definição(ões) de AI e suas principais características; (ii) qual(is) o(s) suporte(s) tecnológico(s) usado(s) para implementar as abordagens de AI identificadas; e (iii) como as abordagens identificadas foram avaliadas. Para cada pergunta acima foram definidas questões de pesquisa secundárias.

Ao executar o estudo piloto somente na base de dados Scopus, foram retornados 318 estudos primários e 266 foram selecionados para análise e extração de dados. No protocolo estava previsto a execução da *string* de busca também nas bases IEEE Xplore<sup>23</sup>,

---

<sup>23</sup> <https://ieeexplore.ieee.org/>

Science Direct<sup>24</sup>, Springer Link<sup>25</sup> e ACM Digital Library<sup>26</sup>, além da busca manual nas revistas científicas International Conference on Education Technology and Computers (ICETC)<sup>27</sup> e Journal of Immersive Education (JiED)<sup>28</sup>. Devido à grande relevância de contribuição para a comunidade de AI, porém considerando o escopo e cronograma desta pesquisa, adotou-se a método de RR como alternativa de revisão sistemática e rápida. Este estudo secundário foi planejado e executado em janeiro de 2020 e seus resultados estão descritos no Capítulo 3.

### 7.2.1.3. Desenvolvimento do Protótipo

Tendo como motivação a falta de evidências sobre a influência de experiências imersivas na melhoria dos resultados de aprendizagem de ES, desenvolveu-se uma aplicação educacional imersiva, OO Game VR (Seção 5.3.2.1). O seu objetivo era apoiar a compreensão sobre conceitos do paradigma de orientação a objetos. A dinâmica da aplicação é construir desenhos tridimensionais a partir dos principais elementos cubo e esfera. Para que os cubos e esferas apareçam no mundo virtual, estes devem ser instanciados a partir de classes UML. Desta forma, o conceito de estado e comportamento de objetos vão sendo transmitidos por meio de uma experiência imersiva e lúdica. Uma avaliação heurística de usabilidade específica para RV foi conduzida com o objetivo de identificar problemas e oportunidades de melhoria e seus resultados foram publicados no Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada (SVR) em (FERNANDES & WERNER, 2019).

Além da aplicação, foi desenvolvida uma prova de conceito da Plataforma iSEE em sua versão em RV e *web*. A versão em RV foi desenvolvida para a plataforma Oculus e a versão *web* foi desenvolvida com o *framework* Laravel, o qual é baseado na linguagem PHP. As principais características do ambiente em RV e *web* foram inspiradas na aplicação Engage VR<sup>29</sup>.

---

<sup>24</sup> <https://www.sciencedirect.com/>

<sup>25</sup> <https://link.springer.com/>

<sup>26</sup> <https://dl.acm.org/>

<sup>27</sup> <http://www.icetc.org/>

<sup>28</sup> <http://jjied.org/>

<sup>29</sup> <https://engagevr.io/>

#### **7.2.1.4. Definição da Proposta de Tese**

A partir da revisão da literatura *ad-hoc*, dos artigos do estudo piloto da RR, bem como do conjunto final de estudos primários da RR, desenvolveu-se esta proposta de tese, cujo objetivo principal é apoiar a EES por meio de experiências imersivas de aprendizagem.

Foi proposto um *framework* teórico para auxiliar no desenvolvimento de aplicações educacionais imersivas de ES, bem disponibilizada uma plataforma que ajuda a fomentar o ensino de ES por meio de experiências imersivas.

Esta proposta foi publicada em (FERNANDES & WERNER, 2019b), apresentada e discutida pela comunidade científica de Realidade Virtual e Aumentada no Workshop de Teses e Dissertações (WTD SVR 2019). Esta discussão contribuiu para revisão e detalhamento da proposta inicial, ao mesmo tempo em que demonstrou a relevância do tema.

#### **7.2.2. Atividades Previstas**

São propostas as seguintes atividades a serem realizadas após o exame de qualificação:

- Evolução do *framework* proposto neste trabalho e sua validação com especialistas no desenvolvimento de aplicação imersivas;
- Corrigir e evoluir a aplicação OO Game VR, baseado nos resultados preliminares da avaliação heurística;
- Finalizar o desenvolvimento das aplicações Requirements VR e OO Programming VR;
- Evolução da plataforma iSEE, adicionando funcionalidades que viabilizem a adoção de tecnologia;
- Realizar avaliação das aplicações OO Game VR, Requirements VR e OO Programming VR, do ponto de vista da influência da experiência imersiva na melhoria dos resultados de aprendizagem de ES, bem como a avaliação da plataforma iSEE, do ponto de vista de adoção de tecnologia, sob as perspectivas do aluno e do professor;
- Submissão e publicação do RR;
- Execução e publicação de mapeamento sistemático;

- Submissões de artigos, mais especificamente os resultados do RR e do MS, para eventos e periódicos (sugestões):
  - Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software (SBES);
  - Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada (SVR);
  - *International Conference on Software Engineering (ICSE)*;
  - *Immersive Learning Research Network (iLRN)*;
  - *Computers and Education*;
  - *Computers in Human Behavior*;
  - *IEEE Transactions on Education*;
  - *International Conference on Education Technology and Computers (ICETC)*; e
  - *Journal of Immersive Education (JiED)*.
- Escrita da tese de doutorado.

### 7.3. Cronograma Proposto

A fim de organizar as próximas atividades e concluir esta tese, a Tabela 15 apresenta a distribuição das atividades listas abaixo:

*Tabela 15. Cronograma de atividades desta proposta de tese*

Atividade	2020												2021												2020			
	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	01	02	03			
1																												
2																												
3																												
4																												
5																												
6																												
7																												
8																												
9																												
10																												

1. Exame de Qualificação;
2. Evolução e validação do *framework*;
3. Evolução das aplicações imersivas;
4. Evolução da plataforma iSEE;

5. Avaliação das aplicações e plataforma;
6. Submissão da RR;
7. Finalização e submissão do mapeamento sistemático;
8. Escrita de artigos;
9. Escrita da tese de doutorado;
10. Defesa da tese de doutorado.

## Referências

- ABDELAZIZ, H. A. "Immersive Learning Design (ILD): A New Model to Assure the Quality of Learning through Flipped Classrooms". In: **Proceedings of the 3rd International Conference on Advanced Applied Informatics**. Kitakyushu, Japan, IEEE, 2014. p. 291–296.
- ABREU, F., ALMEIDA, A., BARREIROS, E., *et al.* "Métodos, Técnicas e Ferramentas para o Desenvolvimento de Software Educacional: um mapeamento sistemático". In: **Proceedings of the Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, SBC, 2012. p. 1–10.
- ACM. **Software Engineering 2014: Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Software Engineering**. Joint effort of the ACM and the IEEE-Computer Society, 2015.
- ACM COMPUTING CURRICULA TASK FORCE (Org.). **Computer Science Curricula 2013: Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Computer Science**. ACM, Inc, 2013. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2534860>. Acesso em: 20 fev. 2020.
- ALARIFI, S. A. **An exploratory study of higher education virtual campuses in Second Life**. University of Nottingham, Nottingham, UK, 2008.
- ALHAMMAD, M. M., MORENO, A. M. "Gamification in software engineering education: A systematic mapping", **Journal of Systems and Software**, v. 141, p. 131–150, 2018.
- ARDIS, M., BUDGEN, D., HISLOP, G. W., *et al.* "SE 2014: Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Software Engineering", **Computer**, v. 48, n. 11, p. 106–109, 2014.
- BAILEY, J., BAIENSON, J. N., WON, A. S., *et al.* "Presence and memory: immersive virtual reality effects on cued recall". In: **Proceedings of the International Society for Presence Research Annual Conference**. Philadelphia, Pennsylvania, USA, 2012. p. 24–26.
- BAKER, A., NAVARRO, E. O., VAN DER HOEK, A. "An experimental card game for teaching software engineering processes", **Journal of Systems and Software**, v. 75, n. 1–2, p. 3–16, 2005.
- BAPTISTA, G., OLIVEIRA, T. "Gamification and serious games: A literature meta-analysis and integrative model", **Computers in Human Behavior**, v. 92, p. 306–315, 2019.
- BARROS, R., OLIVEIRA, S. "SPIDER\_ML: Uma Linguagem de Modelagem de Processos de Software", **II Escola Regional de Informática, Manaus**, 2010.
- BARROWS, H. S. "Problem-based learning in medicine and beyond: A brief overview", **New directions for teaching and learning**, v. 1996, n. 68, p. 3–12, 1996.
- BASILI, V. "GQM approach has evolved to include models", **IEEE SOFTWARE**, v. 11, n. 1, p. 8–8, 1994.
- BEALE, I. L., KATO, P. M., MARIN-BOWLING, V. M., *et al.* "Improvement in cancer-related knowledge following use of a psychoeducational video game for

- adolescents and young adults with cancer", **Journal of Adolescent Health**, v. 41, n. 3, p. 263–270, 2007.
- BEGEL, A., SIMON, B. "Novice software developers, all over again". In: **Proceedings of the fourth international workshop on computing education research**, 2008. **Anais [...]** New York, NY, United States, 2008. p. 3–14.
- BEST, L., STEVENS, A., COLIN-JONES, D. "Rapid and responsive health technology assessment: the development and evaluation process in the South and West region of England", **Journal of Clinical Effectiveness**, 1997.
- BOAS, B. M. de F. V. **Portfólio, avaliação e trabalho pedagógico**. Papyrus Editora, 2005.
- BOWMAN, D. A., MCMAHAN, R. P. "Virtual Reality: How Much Immersion Is Enough?", **Computer**, v. 40, n. 7, p. 36–43, jul. 2007. DOI: 10.1109/MC.2007.257. .
- BOWMAN, D., KRUIJFF, E., LAVIOLA JR, J. J., *et al.* **3D User interfaces: theory and practice, CourseSmart e Textbook**. Addison-Wesley, 2004.
- BRICKEN, W. "Learning in Virtual Reality.", 1990.
- BROOKE, J. "SUS-A quick and dirty usability scale", **Usability evaluation in industry**, v. 189, n. 194, p. 4–7, 1996.
- BUDGEN, D., CHARTERS, S., TURNER, M., *et al.* "Investigating the applicability of the evidence-based paradigm to software engineering". 2006. **Anais [...]** Shanghai, China, ,2006. p. 7–14.
- CALLAGHAN, V., GARDNER, M., PEÑA-RIOS, A., *et al.* "Exploring the future of immersive education", **ILRN 2016. Immersive Learning Research Network Conference**, 2016. DOI: 10.3217/978-3-85125-472-3. Acesso em: 28 set. 2017.
- CAPONETTO, I., EARP, J., OTT, M. "Gamification and education: A literature review". In: **Proceedings of the European Conference on Games Based Learning**. Berlin, Germany, Academic Conferences International Limited, 2014. p. 50.
- CARTAXO, B., PINTO, G., FONSECA, B., *et al.* "Software Engineering Research Community Viewpoints on Rapid Reviews". In: **Proceedings of the 2019 ACM/IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement (ESEM)**. Lund, Sweden, 2019, p. 1–12.
- CARTAXO, B., PINTO, G., SOARES, S. "The role of rapid reviews in supporting decision-making in software engineering practice". In: **Proceedings of the 22nd International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering**. Christchurch, New Zealand, 2018. p. 24–34.
- CHATZIDIMITRIS, T., GAVALAS, D., MICHAEL, D. "SoundPacman: Audio augmented reality in location-based games". In: **Proceedings of the 8th Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON)**. Limassol, Cyprus, 2016. p. 1–6.
- CHAVES, R. O., VON WANGENHEIM, C. G., FURTADO, J. C. C., *et al.* "Experimental Evaluation of a Serious Game for Teaching Software Process Modeling", **IEEE Transactions on Education**, v. 58, n. 4, p. 289–296.

- CHEN, C.-Y., CHONG, P. P. "Software engineering education: A study on conducting collaborative senior project development", **Journal of systems and Software**, v. 84, n. 3, p. 479–491, 2011.
- CHENG, M.-T., LIN, Y.-W., SHE, H.-C., *et al.* "Is immersion of any value? Whether, and to what extent, game immersion experience during serious gaming affects science learning", **British Journal of Educational Technology**, v. 48, n. 2, p. 246–263, 2017.
- CHRISTOPH, L. H. **The role of metacognitive skills in learning to solve problems**. [S.l.], SIKS, 2006.
- COCCOLI, M., STANGANELLI, L., MARESCA, P. "Computer supported collaborative learning in software engineering". **IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)**, p. 990–995, 2011.
- CodeCombat - Coding games to learn Python and JavaScript**. Disponível em: <https://br.codecombat.com/>. Acesso em: 22 fev. 2020.
- CONNOLLY, T. M., STANSFIELD, M., HAINEY, T. "An application of games-based learning within software engineering", **British Journal of Educational Technology**, v. 38, n. 3, p. 416–428.
- CUMMINGS, J. J., BAILENSON, J. N. "How Immersive Is Enough? A Meta-Analysis of the Effect of Immersive Technology on User Presence", **Media Psychology**, v. 19, n. 2, p. 272–309.
- CYBIS, W., BETIOL, A. H., FAUST, R. **Ergonomia e usabilidade: conhecimentos, métodos e aplicações**. Novatec editora, 2017.
- DAUN, M., SALMON, A., WEYER, T., *et al.* "Project-Based Learning with Examples from Industry in University Courses: An Experience Report from an Undergraduate Requirements Engineering Course". In: **Proceedings of the 2016 IEEE 29th International Conference on Software Engineering Education and Training (CSEET)**. Dallas, TX, USA, 2016.
- DAVENPORT, D. "Experience using a project-based approach in an introductory programming course", **IEEE Transactions on Education**, v. 43, n. 4, p. 443–448, 2000.
- DAVEY, B., TATNALL, A. "Where will professional software engineering education go next?". 2008. **IFIP World Computer Congress, TC 3**, Springer, p. 185–192, 2008.
- DAWSON, R. "Twenty dirty tricks to train software engineers". 2000. **Proceedings of the 22nd international conference on Software engineering**, p. 209–218, 2000.
- DE ALMEIDA SOUZA, M. R. "A framework for gamification of project-based software engineering education". Tese de Doutorado: UFMG, 2019.
- DE FREITAS, S., NEUMANN, T. "The use of 'exploratory learning' for supporting immersive learning in virtual environments", **Computers & Education**, v. 52, n. 2, p. 343–352, 2009. .
- DE FREITAS, S., OLIVER, M. "How can exploratory learning with games and simulations within the curriculum be most effectively evaluated?", **Computers & Education, Virtual Learning**, v. 46, n. 3, p. 249–264, 2006.



- DENGEL, A., MÄGDEFRAU, J. "Immersive learning explored: subjective and objective factors influencing learning outcomes in immersive educational virtual environments". **IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE)**, p. 608–615, 2018.
- DENGEL, A., MÄGDEFRAU, J. "Presence Is the Key to Understanding Immersive Learning". In: **Proceedings of the International Conference on Immersive Learning**, 2019. London, UK, Springer, 2019. p. 185–198.
- DENOYELLES, A., SEO, K. K.-J. "Inspiring equal contribution and opportunity in a 3d multi-user virtual environment: Bringing together men gamers and women non-gamers in Second Life®", **Computers & Education**, v. 58, n. 1, p. 21–29, 2012.
- DIEGMANN, P., SCHMIDT-KRAEPELIN, M., VAN DEN EYNDEN, S., *et al.* "Benefits of Augmented Reality in Educational Environments-A Systematic Literature Review.", **Wirtschaftsinformatik**, v. 3, n. 6, p. 1542–1556, 2015. .
- DIEHL, S. **Software Visualization: Visualizing the Structure, Behaviour, and Evolution of Software**. [S.l.], Springer Science & Business Media, 2007.
- DOS SANTOS, O. L., DO PRADO RAFALSKI, J., DE MENEZES, C. S. "Uma game engine para aventuras pedagógicas locativas em realidade aumentada". In: **Proceedings of the Brazilian symposium on computers in education (simpósio brasileiro de informática na educação-sbie)**. Campinas, São Paulo, Brasil, 2013. p. 396.
- DOS SANTOS, S. C. "PBL-SEE: An authentic assessment model for pbl-based software engineering education", **IEEE Transactions on Education**, v. 60, n. 2, p. 120–126, 2016.
- DUNCAN, I., MILLER, A., JIANG, S. "A taxonomy of virtual worlds usage in education", **British Journal of Educational Technology**, v. 43, n. 6, p. 949–964, 1 nov. 2012.
- DUNLEAVY, M., DEDE, C., MITCHELL, R. "Affordances and limitations of immersive participatory augmented reality simulations for teaching and learning", **Journal of science Education and Technology**, v. 18, n. 1, p. 7–22, 2009.
- ELIZONDO-MONTEMAYOR, L. L. "Formative and summative assessment of the problem-based learning tutorial session using a criterion-referenced system", **Journal of the International Association of Medical Science Educators**, v. 14, n. 1, p. 8–14, 2004.
- FAIRLEY, R. E. "A Software Engineering Competency Model (SWECOM)", **IEEE Computer Society**, 2014. .
- FERGUSON, R. W., LAMI, G. "An empirical study on the relationship between defective requirements and test failures". In: **Proceedings of the 30th Annual IEEE/NASA Software Engineering Workshop**. Columbia, MD, USA, IEEE, 2006. p. 7–10.
- FERNANDES, F., WERNER, C. "Towards Immersive Learning in Object-Oriented Paradigm: A Preliminary Study". In: **Proceedings of the 21st Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, EDITOR, 2019a. p. 59–68.

- FERNANDES, F., WERNER, C. "Towards Immersive Software Engineering Education". In: **Anais Estendidos do XXI Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, SBC, 2019b. p. 7–8.
- FERNANDES, J. M., MACHADO, R. J., SEIDMAN, S. B. "A requirements engineering and management training course for software development professionals". In: **Proceedings of the 22nd Conference on Software Engineering Education and Training**. Hyderabad, India, IEEE, 2009. p. 20–25.
- FORD JR, C. W., MINSKER, S. "TREEZ-An educational data structures game", **Journal of Computing Sciences in Colleges**, v. 18, n. 6, p. 180–185, 2003. .
- FREITAS, S. de, NEUMANN, T. "The use of ‘exploratory learning’ for supporting immersive learning in virtual environments", **Computers & Education**, v. 52, n. 2, p. 343–352, 1 fev. 2009.
- GAROUSI, V., GIRAY, G., TUZUN, E., *et al.* "Closing the gap between software engineering education and industrial needs", **IEEE Software**, 2019.
- GAVILANES-SAGNAY, F., LOZA-AGUIRRE, E., RIOFRÍO-LUZCANDO, D., *et al.* "Improving the Use of Virtual Worlds in Education Through Learning Analytics: A State of Art". In: **Proceedings of the Future Technologies Conference (FTC)**. Vancouver, Canada, Springer International Publishing, 2019. p. 1123–1132.
- GOKHALE, A. A. "Collaborative learning and critical thinking", **Encyclopedia of the sciences of learning**, p. 634–636, 2012.
- GONDIM, H. W. A., AMBRÓSIO, A. P. L., COSTA, F. M. "TaskBoard-using xp to implement problem-based learning in an introductory programming course". In: **Proceedings of the International Conference on Agile Software Development**. Madrid, Spain, 2011. p. 162–175.
- GRANT, E. S., HELPS, W. I. "Enhancing teaching & learning of software engineering in an international environment", **GSTF Journal on Computing (JoC)**, v. 2, n. 1, 2014.
- HABGOOD, M. P. J. **The effective integration of digital games and learning content**. 2007. PhD Thesis:University of Nottingham, 2007.
- HAINES, T., CONNOLLY, T. M., STANSFIELD, M., *et al.* "Evaluation of a game to teach requirements collection and analysis in software engineering at tertiary education level", **Computers & Education**, v. 56, n. 1, p. 21–35, 2011. .
- HAZZAN, O., TOMAYKO, J. E. "Reflection and abstraction in learning software engineering’s human aspects", **Computer**, v. 38, n. 6, p. 39–45, 2005. .
- HELMKE, A., WEINERT, F. E. **Bedingungsfaktoren schulischer leistungen**. [S.l.], Max-Planck-Inst. für Psychologische Forschung, 1997.
- HERPICH, F., JARDIM, R. R., NUNES, F. B., *et al.* "Virtual Lab: An Immersive Tool to Assist in the Teaching of Software Engineering". In: **Proceedings of the XVI Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)**. Salvador, Bahia, Brazil, 2014. p. 118–126.
- HERRINGTON, J., REEVES, T. C., OLIVER, R. "Immersive learning technologies: Realism and online authentic learning", **Journal of Computing in Higher Education**, v. 19, n. 1, p. 80–99, 1 set. 2007.

- HMELO-SILVER, C. E. "Problem-based learning: What and how do students learn?", **Educational psychology review**, v. 16, n. 3, p. 235–266, 2004. .
- IBANEZ, M.-B., DI-SERIO, A., DELGADO-KLOOS, C. "Gamification for engaging computer science students in learning activities: A case study", **IEEE Transactions on learning technologies**, v. 7, n. 3, p. 291–301, 2014.
- IEEE COMPUTER SOCIETY. **Software Engineering Competency Model**. Disponível em: <https://www.computer.org/volunteering/boards-and-committees/professional-educational-activities/software-engineering-competency-model>. Acesso em: 20 ago. 2018.
- INAYAT, I., INAYAT, Z., AMIN, R. U. "Teaching and Learning Object-Oriented Analysis and Design with 3D Game". In: **Proceedings of the 2016 International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT)**. Islamabad, Pakistan, IEEE, dez. 2016. p. 46–51.
- IP, H. H., LI, C., LEONI, S., *et al.* "Design and Evaluate Immersive Learning Experience for Massive Open Online Courses (MOOCs)", **IEEE Transactions on Learning Technologies**, 2018.
- JACOB, L. J., OLIVA, C., NEDEL, L. P., *et al.* "Avaliação Experimental de Técnicas de Seleção e Manipulação em Ambientes Virtuais". In: **Proceedings of the SBC Symposium on Virtual Reality (SVR 2002)**. Fortaleza, CE, Brasil, SBC, 2002.
- JAIN, A., BOEHM, B. "SimVBSE: Developing a game for value-based software engineering". In: **Proceedings of the 19th Conference on Software Engineering Education & Training (CSEET'06)**. Turtle Bay, HI, IEEE, 2006. p. 103–114.
- JOHNSON, R. K., SWAIN, M. **Immersion education: International perspectives**. Cambridge University Press, 1997.
- JOHNSON, S. D., SURIYA, C., YOON, S. W., *et al.*, "An Overview of Cooperative Learning". **Creativity and Collaborative Learning: A Practical Guide to Empowering Students and Teachers**, 1994.
- JOHNSON, W. L., WU, S. "Assessing aptitude for learning with a serious game for foreign language and culture". In: **Proceedings of the International Conference on Intelligent Tutoring Systems**. Montreal, QC, Canada, Springer, 2008. p. 520–529.
- KELNER, J., TEICHRIEB, V. "Técnicas de interação para ambientes de Realidade Virtual e Aumentada", **Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações**, 2008.
- KENNEDY, R. S., LANE, N. E., BERBAUM, K. S., *et al.* "Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness", **The international journal of aviation psychology**, v. 3, n. 3, p. 203–220, 1993. .
- KITCHENHAM, B., BUDGEN, D., BRERETON, P., *et al.* "An investigation of software engineering curricula", **Journal of Systems and Software**, v. 74, n. 3, p. 325–335, 2005.
- KIZAKI, S., TAHARA, Y., OHSUGA, A. "Software development PBL focusing on communication using scrum". In: **Proceedings of the 3rd International Conference on Advanced Applied Informatics**. Kitakyushu, Japan, CPS, 2014. p. 662–669.

- KOLB, D. A. **Experiential learning: Experience as the source of learning and development**. FT press, 2014.
- KRATHWOHL, D. R., ANDERSON, L. W. **A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives**. Longman, 2009.
- Laravel - The PHP Framework For Web Artisans**. Disponível em: <https://laravel.com/>. Acesso em: 31 jan. 2020.
- LEE, E. A.-L., WONG, K. W., FUNG, C. C. "How does desktop virtual reality enhance learning outcomes? A structural equation modeling approach", **Computers & Education**, v. 55, n. 4, p. 1424–1442, 2010. .
- LETHBRIDGE, T. C. "What knowledge is important to a software professional?", **Computer**, v. 33, n. 5, p. 44–50, 2000. .
- LETHBRIDGE, T. C., DIAZ-HERRERA, J., RICHARD JR, J., *et al.* "Improving software practice through education: Challenges and future trends". In: **Proceedings of the Future of Software Engineering (FOSE'07)**. Minneapolis, MN, IEEE, 2007. p. 12–28.
- MACIAS, J. A. "Enhancing Project-Based Learning in Software Engineering Lab Teaching Through an E-Portfolio Approach", **IEEE Transactions on Education**, v. 55, n. 4, p. 502–507, nov. 2012.
- MARQUES, M. R., QUISPE, A., OCHOA, S. F. "A systematic mapping study on practical approaches to teaching software engineering". In: **Proceedings of the IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)**, out. 2014. **Anais [...]** Madrid, Spain, IEEE, out. 2014. p. 1–8.
- MEDINA, R. D. **ASTERIX: Aprendizagem significativa e tecnologias aplicadas no ensino de redes de computadores: integrando e explorando possibilidades**. Tese de Doutorado: UFRGS, 2004.
- MIKROPOULOS, T. A. "Presence: a unique characteristic in educational virtual environments", **Virtual Reality**, v. 10, n. 3–4, p. 197–206, 2006.
- MORA, A., RIERA, D., GONZALEZ, C., *et al.* "A Literature Review of Gamification Design Frameworks". In: **7th International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-Games)**. Skövde, Sweden, 2015. p. 1–8.
- MORENO, R., MAYER, R. E. "Personalized messages that promote science learning in virtual environments.", **Journal of educational Psychology**, v. 96, n. 1, p. 165, 2004. .
- MPS.BR**. Softex. Disponível em: <https://softex.br/mpsbr/>. Acesso em: 22 fev. 2020.
- NAKAGAWA, E. **Revisão Sistemática da Literatura em Engenharia de Software**. Edição: 1ª ed. Elsevier, 2017.
- NAOYA, N., TAKEMURA, Y., KUME, I. "A practice of collaborative project-based learning for mutual edification between programming skill and artistic craftsmanship". In: **Proceedings of the 39th IEEE Frontiers in Education Conference**. San Antonio, Texas, USA, IEEE, 2009. p. 1–5.
- NAVARRO, E. O., BAKER, A., VAN DER HOEK, A. "Teaching software engineering using simulation games". In: **Proceedings of the International Western**

- Simulation Multiconference**. San Diego, California, USA, Society for Computer Simulation, 2004.
- NAVARRO, E. O., VAN DER HOEK, A. "Design and evaluation of an educational software process simulation environment and associated model". In: **Proceedings of the 18th Conference on Software Engineering Education & Training (CSEET'05)**. Washington, DC, USA, IEEE, 2005. p. 25–32.
- NAVARRO, E. O., VAN DER HOEK, A. "SimSE: an educational simulation game for teaching the Software engineering process". In: **Proceedings of the 9th SIGCSE conference on Innovation and technology in computer science education**. Leeds, United Kingdom, Association for Computing Machinery, 28 jun. 2004. p. 233.
- NIELSEN, J. "Usability inspection methods". In: **Proceedings of the Conference companion on Human factors in computing systems**. Boston, Massachusetts, USA, Springer, 1994. p. 25–62.
- NOWAK, K. L., BIOCCA, F. "The Effect of the Agency and Anthropomorphism on Users' Sense of Telepresence, Copresence, and Social Presence in Virtual Environments", **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, v. 12, n. 5, p. 481–494, 1 out. 2003.
- OLIVEIRA, A. M. C. A., DOS SANTOS, S. C., GARCIA, V. C. "PBL in teaching computing: An overview of the last 15 years". In: **Proceedings of the IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)**. Oklahoma City, Oklahoma, USA, IEEE, 2013. p. 267–272.
- PEDREIRA, O., GARCÍA, F., BRISABOA, N., *et al.* "Gamification in software engineering—A systematic mapping", **Information and software technology**, v. 57, p. 157–168, 2015. .
- PENELLE, B., DEBEIR, O. "Multi-sensor data fusion for hand tracking using Kinect and Leap Motion". In: **Proceedings of the 2014 Virtual Reality International Conference**. Laval, France, ACM, 2014. p. 1–7.
- RIBEIRO, L. R. de C. **A aprendizagem baseada em problemas (PBL): uma implementação na educação em engenharia na voz dos atores**. 2005. Tese de Doutorado: Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2005.
- RICHARDSON, I., REID, L., SEIDMAN, S. B., *et al.* "Educating software engineers of the future: Software quality research through problem-based learning". In: **Proceedings of the 24th IEEE-CS Conference on Software Engineering Education and Training (CSEE T)**. Washington, DC, USA, maio 2011. p. 91–100.
- RODRIGUES, C. S. C. **VISAR3D-Uma Abordagem Baseada em Tecnologia Emergentes 3D para Apoio à Compreensão de Modelos UML**. Tese de Doutorado: COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2012.
- RODRIGUEZ, G., SORIA, Á., CAMPO, M. "Virtual Scrum: A teaching aid to introduce undergraduate software engineering students to scrum", **Computer Applications in Engineering Education**, v. 23, n. 1, p. 147–156, 2015.
- SABBATINI, R. M. "Ambiente de ensino e aprendizagem via Internet: a Plataforma Moodle", **Instituto EduMed**, 2007. .

- SCHNEIDER, M., CARLEY, K. M., MOON, I. C. "Detailed comparison of America's Army game and Unit of Action experiments", **Available at SSRN 2726826**, 2005.
- SCHOTT, C., MARSHALL, S. "Virtual reality and situated experiential education: A conceptualization and exploratory trial", **Journal of computer assisted learning**, v. 34, n. 6, p. 843–852, 2018.
- SCHREIBER, A., MISIAK, M. "Visualizing Software Architectures in Virtual Reality with an Island Metaphor". In: **Proceedings of the International Conference on Virtual, Augmented and Mixed Reality**. Las Vegas, FL, USA, Springer, 2018. p. 168–182.
- SCHREPP, M., HINDERKS, A., THOMASCHEWSKI, J. "Design and Evaluation of a Short Version of the User Experience Questionnaire (UEQ-S)". **IJIMAI**, v. 4, n. 6, p. 103–108, 2017.
- SERINO, M., CORDREY, K., MCLAUGHLIN, L., *et al.* "Pokémon Go and augmented virtual reality games: a cautionary commentary for parents and pediatricians", **Current opinion in pediatrics**, v. 28, n. 5, p. 673–677, 2016.
- SHAW, K., DERMOUDY, J. "Engendering an empathy for software engineering". In: **Proceedings of the 7th Australasian conference on Computing education**. Darlinghurst, Australia, ACM Digital Library, 2005. p. 135–144.
- SIEMENS, G., BAKER, R. S. d. "Learning analytics and educational data mining: towards communication and collaboration". In: **Proceedings of the 2nd international conference on learning analytics and knowledge**. Vancouver British, Columbia, Canada, ACM Digital Library, 2012. p. 252–254.
- SLATER, M. "A Note on Presence Terminology", **Presence Connect**, v. 3, 1 jan. 2003.
- SOUSA, S. de O. "Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL–Problem-Based Learning): estratégia para o ensino e aprendizagem de algoritmos e conteúdos computacionais". Dissertação de Mestrado:UNESP. São Paulo, 2010.
- STONE, R. J. "Applications of virtual environments: An overview", **Human Factors and Ergonomics**, p. 827–856, 2002. .
- SUBRAMANIAM, S., CHUA, F.-F., CHAN, G.-Y. "Project-based Learning for Software Engineering–An Implementation Framework", **Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTREC)**, v. 9, n. 3–4, p. 81–85, 2017. .
- SUTCLIFFE, A. G., KAUR, K. D. "Evaluating the usability of virtual reality user interfaces", **Behaviour & Information Technology**, v. 19, n. 6, p. 415–426, 2000. .
- SUTCLIFFE, A., GAULT, B. "Heuristic evaluation of virtual reality applications", **Interacting with Computers**, Human Computer Interaction in Latin America. v. 16, n. 4, p. 831–849, 1 ago. 2004.
- SWEBOK V3 • IEEE Computer Society**. Disponível em: <https://www.computer.org/web/swebok/v3>. Acesso em: 28 abr. 2017.
- TEYSEYRE, A. R., CAMPO, M. R. "An Overview of 3D Software Visualization", **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 15, n. 1, p. 87–105, jan. 2009. DOI: 10.1109/TVCG.2008.86. .

- TORI, R., KIRNER, C., SISCOOTTO, R. A. **Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada**. Editora SBC, 2006. Disponível em: <http://www.interlab.pcs.usp.br/Sumario-Livro-RV2006.pdf>.
- TRICCO, A. C., ANTONY, J., ZARIN, W., *et al.* "A scoping review of rapid review methods", **BMC medicine**, v. 13, n. 1, p. 224, 2015.
- TUOHI, R. "Assessment in problem based learning connected with it engineering education". In: **Proceedings of the International Conference on Engineering Education & Research December**. Melbourne, Australia, IEEE, 2007. p. 2–7.
- ÜSTÜNEL, H. "A project based innovative approach to an embedded systems course laboratory in software engineering education", **Computer Applications in Engineering Education**, v. 28, n. 1, p. 160–166, 1 jan. 2020.
- VALENTE, C., NETO, J. A. M. **Second Life e Web 2.0 na educação: o potencial revolucionário das novas tecnologias**. Novatec Editora, 2007.
- VYGOTSKY, L. S. **Mind in society (M. Cole, V. John-Steiner, S. Scribner, & E. Souberman, Eds.)**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1978.
- WANG, T., ZHU, Q. "A software engineering education game in a 3-D online virtual environment". In: **Proceedings of the First International Workshop on Education Technology and Computer Science**. Wuhan, Hubei, IEEE, 2009. p. 708–710.
- WARAICH, A. "Using narrative as a motivating device to teach binary arithmetic and logic gates", **ACM SIGCSE Bulletin**, v. 36, n. 3, p. 97–101, 2004. .
- WITMER, B. G., SINGER, M. J. "Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire", **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, v. 7, n. 3, p. 225–240, 1 jun. 1998. DOI: 10.1162/105474698565686. .
- WOHLIN, C. "Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering". London, England United Kingdom, 2014. p. 1–10.
- YIN, F. "Applying methods of formative and summative assessment to problem-based learning in computer courses", **The China Papers**, 2006.
- ZHU, Q., WANG, T., TAN, S. "Adapting game technology to support software engineering process teaching: from SimSE to Mo-SEProcess". In: **Proceedings of the Third International Conference on Natural Computation**. Haikou, China, 2007. p. 777–780.
- ZUIKER, S. J. "Educational virtual environments as a lens for understanding both precise repeatability and specific variation in learning ecologies", **British Journal of Educational Technology**, v. 43, n. 6, p. 981–992, 2012.

## Anexo I. Conjunto Final de Estudos Primários da Scopus

Este anexo apresenta o conjunto final de estudos primários, a partir da base Scopus, selecionados para extração de dados.

- SC01.** Ables, A. Augmented and virtual reality: Discovering their uses in natural science classrooms and beyond. In: Proceedings ACM SIGUCCS User Services Conference, 2017.
- SC02.** Almousa, O., Prates, J., Yeslam, N., *et al.* Virtual Reality Simulation Technology for Cardiopulmonary Resuscitation Training: An Innovative Hybrid System With Haptic Feedback. Simulation and Gaming, 2018.
- SC03.** Babu, S.K., Krishna, S., Unnikrishnan, R., *et al.* Virtual reality learning environments for vocational education: A comparison study with conventional instructional media on knowledge retention. In: Proceedings - IEEE 18th International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2018, 2019.
- SC04.** Barmaki, R., Hughes, C.E. Providing real-time feedback for student teachers in a virtual rehearsal environment. In: ICMI 2015 - Proceedings of the 2015 ACM International Conference on Multimodal Interaction, 2019.
- SC05.** Berndt, H., Wessel, D., Willer, L., *et al.* Immersion and presence in virtual reality training for mass casualty incidents. In: Proceedings of the International ISCRAM Conference, 2019.
- SC06.** Bhattacharjee, D., Paul, A., Kim, J.H., *et al.* An immersive learning model using evolutionary learning. Computers and Electrical Engineering, 2019.
- SC07.** Brown, T., Lomsdalen, J., Humer, I., *et al.* Immersive Learning for Scale and Order of Magnitude in Newtonian Mechanics. In: Communications in Computer and Information Science, 2015.
- SC08.** Calderon, R.R., Ruiz, M.A.G. Learning physics with virtual environment. In: EDUNINE 2019 - 3rd IEEE World Engineering Education Conference: Modern Educational Paradigms for Computer and Engineering Career, Proceedings, 2015.
- SC09.** Carpeno, A., Contreras, D., López, S., *et al.* 3D virtual world remote laboratory to assist in designing advanced user defined DAQ systems based on FlexRIO and EPICS. Fusion Engineering and Design, 2019.
- SC10.** Carruth, D.W., Hudson, C.R., Bethel, C.L., *et al.* Using HMD for Immersive Training of Voice-Based Operation of Small Unmanned Ground Vehicles. In: International Conference on Human-Computer Interaction, 2019.
- SC11.** Chabot, S., Drozdal, J., Zhou, Y., *et al.* Language Learning in a Cognitive and Immersive Environment Using Contextualized Panoramic Imagery. In: Communications in Computer and Information Science, 2017.
- SC12.** Chan, L.K.Y., Yuen, K.S.G., Lau, H.Y.K., Immersive learning environment for visual arts. In: International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics, 2017.
- SC13.** Chang, S.-C., Hsu, T.-C., Chen, Y.-N., *et al.* The effects of spherical video-based virtual reality implementation on students' natural science learning effectiveness. Interactive Learning Environments, 2017.



- SC14.** Chen, L., Wu, L., Li, X., *et al.* An Immersive VR Interactive Learning System for Tenon Structure Training. In: Proceedings - 2019 2nd International Conference on Data Intelligence and Security, ICDIS 2019, 2015.
- SC15.** Chen, X., Chen, Z., Li, Y., *et al.* ImmerTai: Immersive Motion Learning in VR Environments. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2018.
- SC16.** Chiu, F.-Y., Virtual reality for learning languages based on mobile devices. In: 2017 16th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training, ITHET 2017, 2019.
- SC17.** Choi, K., Yoon, Y.-J., Song, O.-Y., *et al.* Interactive and immersive learning using 360° virtual reality contents on mobile platforms. Mobile Information Systems, 2019.
- SC18.** Choi, K.-S., Chan, S.-T., Leung, C.H.-M., *et al.* Stereoscopic Three-Dimensional Visualization for Immersive and Intuitive Anatomy Learning. In: Proceedings - IEEE 8th International Conference on Technology for Education, T4E 2016, 2019.
- SC19.** Condino, S., Turini, G., Parchi, P.D., *et al.* How to build a patient-specific hybrid simulator for orthopaedic open surgery: Benefits and limits of mixed-reality using the Microsoft hololens. Journal of Healthcare Engineering, 2016.
- SC20.** Ćwil, M., Bartnik, W. Physically Extended Virtual Reality (PEVR) as a New Concept in Railway Driver Training. In: International Conference on Human-Computer Interaction, 2016.
- SC21.** Deep, A., Prasad, P., Narayana, S., *et al.* Game based learning of blood clotting concepts. In: Proceedings - IEEE 16th International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2016, 2015.
- SC22.** Dengel, A. Seeking the Treasures of Theoretical Computer Science Education: Towards Educational Virtual Reality for the Visualization of Finite State Machines. In: Proceedings of 2018 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering, TALE 2018, 2015.
- SC23.** Dengel, A., MÃgdefrau, J. Presence Is the Key to Understanding Immersive Learning. In: Communications in Computer and Information Science, 2016.
- SC24.** Dengel, A., Mazdefrau, J. Immersive Learning Explored: Subjective and Objective Factors Influencing Learning Outcomes in Immersive Educational Virtual Environments. In: Proceedings of 2018 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering, TALE 2018, 2019.
- SC25.** Dickes, A.C., Kamarainen, A., Metcalf, S.J., *et al.* Scaffolding ecosystems science practice by blending immersive environments and computational modeling. British Journal of Educational Technology, 2017.
- SC26.** Edwards, B.I., Bielawski, K.S., Prada, R., *et al.* Haptic virtual reality and immersive learning for enhanced organic chemistry instruction. Virtual Reality, 2018.
- SC27.** Fakier, R., Van Den Berg, C. Sports Coaching in Impoverished Communities through the Use of Virtual Reality. In: 2019 IST-Africa Week Conference, IST-Africa 2019, 2018.
- SC28.** Fernandes, F., Werner, C. Towards immersive learning in object-oriented paradigm: A preliminary study. In: Proceedings - 2019 21st Symposium on Virtual and Augmented Reality, SVR 2019, 2016.

- SC29.** Galaup, M., Muller, N., Pons Lelardeux, C., *et al.* Design of learning environments for Mechanical Engineering. *Procedia Manufacturing*, 2019.
- SC30.** Gans, E., Roberts, D., Bennett, M., *et al.* Augmented reality technology for day/night situational awareness for the dismounted Soldier. In: *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 2015.
- SC31.** Gautam, A., Williams, D., Terry, K., *et al.* Mirror Worlds: Examining the Affordances of a Next Generation Immersive Learning Environment. *TechTrends*, 2019.
- SC32.** Grajewski, D., Diakun, J., Wichniarek, R., *et al.* Improving the Skills and Knowledge of Future Designers in the Field of Ecodesign Using Virtual Reality Technologies. In: *Procedia Computer Science*, 2016.
- SC33.** Gupta, A., Cecil, J., Pirela-Cruz, M., *et al.* A Virtual Reality Enhanced Cyber-Human Framework for Orthopedic Surgical Training. *IEEE Systems Journal*, 2016.
- SC34.** Gupta, A., Cecil, J., Tapia, O., *et al.* Design of cyber-human frameworks for immersive learning. In: *Conference Proceedings - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 2015.
- SC35.** Halabi, O., Abou El-Seoud, M.S., Geroimenko, V., Teaching design project in introductory engineering course using 3D modeling and immersive virtual reality. In: *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2019.
- SC36.** Hanson, J., Andersen, P., Dunn, P.K., Effectiveness of three-dimensional visualisation on undergraduate nursing and midwifery students' knowledge and achievement in pharmacology: A mixed methods study. *Nurse Education Today*, 2017.
- SC37.** He, T., Chen, X., Chen, Z., *et al.* Immersive and collaborative Taichi motion learning in various VR environments. In: *Proceedings - IEEE Virtual Reality*, 2017.
- SC38.** Ip, H.H.S., Li, C., Leoni, S., *et al.* Design and Evaluate Immersive Learning Experience for Massive Open Online Courses (MOOCs). *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 2019.
- SC39.** Ip, H.H.S., Li, C., Wong, Y.W., *et al.* Delivering immersive learning experience for massive open online courses (MOOCs). In: *International Conference on Web-Based Learning*, 2017.
- SC40.** Irwin, P., Coutts, R., Graham, I. Looking good sister! The use of a virtual world to develop nursing skills. In: *Communications in Computer and Information Science*, 2018.
- SC41.** Jambi, E., Gardner, M., Callaghan, V., Supporting mixed-mode role-play activities in a virtual environment. In: *2017 9th Computer Science and Electronic Engineering Conference, CEEC 2017 - Proceedings*, 2017.
- SC42.** Johnson, D., Damian, D., Tzanetakis, G. Evaluating the effectiveness of mixed reality music instrument learning with the theremin. *Virtual Reality*, 2019.
- SC43.** Kamarainen, A.M., Thompson, M., Metcalf, S.J., *et al.* Prompting connections between content and context: Blending immersive virtual environments and augmented reality for environmental science learning. In: *Communications in Computer and Information Science*, 2019.
- SC44.** Kamińska, D., Sapiński, T., Aitken, N., *et al.* Virtual reality as a tool in mechatronics education. In: *2017 18th International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering, ISEF 2017*, 2019.

- SC45.** Kamińska, D., Sapiński, T., Aitken, N., *et al.* Virtual reality as a new trend in mechanical and electrical engineering education. *Open Physics*, 2019.
- SC46.** Ke, F., Lee, S., Xu, X. Teaching training in a mixed-reality integrated learning environment. *Computers in Human Behavior*, 2018.
- SC47.** Keller, T., Hebeisen, A., Brucker-Kley, E. Integration of children with special needs in mathematics through virtual reality. In: *Proceedings of the 15th International Conference on Cognition and Exploratory Learning in the Digital Age, CELDA 2018*, 2017.
- SC48.** Klippel, A., Zhao, J., Oprean, D., *et al.* Research framework for immersive virtual field trips. In: *26th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, VR 2019 - Proceedings*, 2015.
- SC49.** Kuo, T.-L., Humanoid avatar motion capture recording system in virtual lab for educational tutorials. In: *Proceedings of the 2017 Pacific Neighborhood Consortium Annual Conference and Joint Meetings: Data Informed Society, PNC 2017*, 2019.
- SC50.** Kyan, M., Sun, G., Li, H., *et al.* An approach to ballet dance training through MS kinect and visualization in a CAVE virtual reality environment. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 2019.
- SC51.** Latoschik, M.E., Lugin, J.-L., Habel, M., *et al.* Breaking bad behavior: Immersive training of classroom management. In: *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST*, 2018.
- SC52.** Lelardeux, C.P., Panzoli, D., Lagarrigue, P., *et al.* Making decisions in a virtual operating room. In: *Proceedings - 2016 International Conference on Collaboration Technologies and Systems, CTS 2016*, 2017.
- SC53.** Liang, H., Chang, J., Deng, S., *et al.* Exploitation of novel multiplayer gesture-based interaction and virtual puppetry for digital storytelling to develop children's narrative skills. In: *Proceedings - VRCAI 2015: 14th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual Reality Continuum and its Applications in Industry*, 2015.
- SC54.** Liang, H., Chang, J., Kazmi, I.K., *et al.* Hand gesture-based interactive puppetry system to assist storytelling for children. *Visual Computer*, 2017.
- SC55.** Liao, X., Wang, H., Niu, J., *et al.* Research on simulation training system of immersive substation based on virtual reality. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019.
- SC56.** Macfarlan, B., Anderson, M., Boyce, J., *et al.* Monash rocks: The first step in an augmented reality journey through deep time. In: *ASCILITE 2017 - Conference Proceedings - 34th International Conference of Innovation, Practice and Research in the Use of Educational Technologies in Tertiary Education*, 2018.
- SC57.** Mann, J., Polys, N., Diana, R., *et al.* Virginia tech's study hall: A virtual method of loci mnemotechnic study using a neurologically-based, mechanism-driven, approach to immersive learning research. In: *Proceedings - IEEE Virtual Reality*, 2016.
- SC58.** McCaffery, J., Miller, A., Oliver, I., *et al.* Augmented learning roads for Internet routing. In: *Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE*, 2019.

- SC59.** McCarthy, C.J., Yu, A.Y.C., Do, S., *et al.* Interventional Radiology Training Using a Dynamic Medical Immersive Training Environment (DynaMITE). *Journal of the American College of Radiology*, 2019.
- SC60.** McGrath, J., Kman, N., Danforth, D., *et al.* Virtual alternative to the oral examination for emergency medicine residents. *Western Journal of Emergency Medicine*, 2017.
- SC61.** Mentzelopoulos, M., Parrish, J., Kathrani, P., *et al.* REVRLaw: An immersive way for teaching criminal law using virtual reality. In: *Communications in Computer and Information Science*, 2015.
- SC62.** Molka-Danielsen, J., Prasolova-Forland, E., Fominykh, M., *et al.* Use of a Collaborative Virtual Reality Simulation for Multi-Professional Training in Emergency Management Communications. In: *Proceedings of 2018 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering, TALE 2018*, 2018.
- SC63.** Moreland, J., Zaraliakos, J.E., Campbell, W., *et al.* Interactive incident visualization for steel industry safety training. In: *AISTech - Iron and Steel Technology Conference Proceedings*, 2017.
- SC64.** Mossel, A., Froeschl, M., Schoenauer, C., *et al.* VROnSite: Towards immersive training of first responder squad leaders in untethered virtual reality. In: *Proceedings - IEEE Virtual Reality*, 2018.
- SC65.** Mu, Z., Tan, Z. Analysis & Design of Fire Protection & Rescue Training Emulation System Based on Virtual Reality. In: *Proceedings - 2017 International Conference on Robots and Intelligent System, ICRIS 2017*, 2016.
- SC66.** Muller, N., Panzoli, D., Galaup, M., *et al.* Learning mechanical engineering in a virtual workshop: A preliminary study on utilisability, utility and acceptability. In: *2017 9th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications, VS-Games 2017 - Proceedings*, 2019.
- SC67.** Nakayama, T., Yoshida, R., Nakadai, T., *et al.* Immersive learning support system based on kinect sensor for children to learn about paleontological environments. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, 2018.
- SC68.** Nazir, S., Manca, D. How a plant simulator can improve industrial safety. *Process Safety Progress*, 2018.
- SC69.** Panzoli, D., Pons-Lelardeux, C., Lagarrigue, P. Communication and Knowledge Sharing in an Immersive Learning Game. In: *VS-Games 2015 - 7th International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications*, 2017.
- SC70.** Park, S., Park, C. Immersive gatekeeper training system for suicide prevention in HMD based virtual environments. In: *International Conference on Virtual, Augmented and Mixed Reality*, 2019.
- SC71.** Perera, I., Miller, A., Allison, C., A Case Study in User Support for Managing OpenSim Based Multi User Learning Environments. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 2019.
- SC72.** Pham, H.C., Dao, N.-N., Cho, S., *et al.* Construction hazard investigation leveraging object anatomization on an augmented photoreality platform. *Applied Sciences (Switzerland)*, 2019.
- SC73.** Pietroszek, K., Tahai, L. Scalebridge VR: Immersive proportional reasoning game for children with brain-computer interface for difficulty scaling. In: *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST*, 2018.
- SC74.** Qi, W. Evaluating a virtual collaborative environment for interactive distance teaching and learning: A case study. In: *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 2016.

- SC75.** Ren, S., McKenzie, F.D. Collaborative virtual environment for engineering laboratory. In: Proceedings - 29th European Conference on Modelling and Simulation, ECMS 2015, 2019.
- SC76.** Ritter, K.A., Borst, C.W., Chambers, T.L., Virtual solar energy center case studies. Computers in Education Journal, 2017.
- SC77.** Schott, C., Marshall, S. Virtual reality and situated experiential education: A conceptualization and exploratory trial. Journal of Computer Assisted Learning, 2018.
- SC78.** Shudayfat, E.A., Moldoveanu, F., Moldoveanu, A., *et al.* 3D game-like virtual environment for chemistry learning. UPB Scientific Bulletin, Series C: Electrical Engineering and Computer Science, 2015.
- SC79.** Sun, Q., Gai, W., Song, Y., *et al.* HoloLens-Based Visualization Teaching System for Algorithms of Computer Animation. In: 2019 IEEE International Conference on Computer Science and Educational Informatization, CSEI 2019, 2018.
- SC80.** Torres, C., Figueroa, P. Learning how to play a guitar with the hololens: A case study. In: Proceedings - 2018 44th Latin American Computing Conference, CLEI 2018, 2019.
- SC81.** Vassigh, S., Davis, D., Behzadan, A.H., *et al.* Teaching Building Sciences in Immersive Environments: A Prototype Design, Implementation, and Assessment. International Journal of Construction Education and Research, 2015.
- SC82.** Wang, S.-T., Liu, L.-M., Wang, S.-M., The Design and Evaluate of Virtual Reality Immersive Learning - The Case of Serious Game 'Calcium Looping for Carbon Capture'. In: 2018 International Conference on System Science and Engineering, ICSSE 2018, 2019.
- SC83.** Wang, Y.F., Petrina, S., Feng, F. VILLAGE - Virtual Immersive Language Learning and Gaming Environment: Immersion and presence. British Journal of Educational Technology, 2017.
- SC84.** Weng, M., Kong, X., Huang, L., *et al.* Demo: A low-cost wireless system implementation for interactive and immersive teaching. In: Proceedings of the International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc), 2015.
- SC85.** Wong, C., Lu, A., Im, T., *et al.* Supporting flipped learning with virtual-reality field trips. In: Proceedings - 2019 International Symposium on Educational Technology, ISET 2019, 2018.
- SC86.** Xenos, M., Maratou, V., Ntokas, I., *et al.* Game-based learning using a 3D virtual world in computer engineering education. In: IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON, 2019.
- SC87.** Yoshida, R., Tamaki, H., Sakai, T., *et al.* Novel application of Kinect sensor to support immersive learning within museum for children. In: Proceedings of the International Conference on Sensing Technology, ICST, 2017.
- SC88.** Yu, K.C., Saham, K., Sahami, V., *et al.* Group immersive education with digital fulldome planetariums. In: Proceedings - IEEE Virtual Reality, 2016.
- SC89.** Zhao, J., Klippelt, A. Scale - Unexplored opportunities for immersive technologies in place-based learning. In: 26th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, VR 2019 - Proceedings, 2018.
- SC90.** Zhou, Z., Jiang, S., Yang, Z., *et al.* Personalized planning and training system for brachytherapy based on virtual reality. Virtual Reality, 2017.

## **Anexo II. Conjunto Final de Estudos Primários do *Snowballing***

Este anexo apresenta o conjunto final de estudos primários, a partir do *Snowballing*, selecionados para extração de dados.

- SN01.** Aggarwal, R. Black, S.A. Hance, J.R. *et al.* Virtual Reality Simulation Training can Improve Inexperienced Surgeons' Endovascular Skills. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, 2015.
- SN02.** Badilla Quintana, M.G. Meza Fernández, S. A pedagogical model to develop teaching skills. the collaborative learning experience in the Immersive Virtual World TYMMI. *Computers in Human Behavior*, 2020.
- SN03.** Barioni, R.R. Costa, W. Aleluia, A. *et al.* BalletVR: A virtual reality system for ballet arm positions training. In: *Proceedings - 2019 21st Symposium on Virtual and Augmented Reality, SVR 2019*, 2019.
- SN04.** Chang, C.-Y. Sung, H.-Y. Guo, J.-L. *et al.* Effects of spherical video-based virtual reality on nursing students' learning performance in childbirth education training. *Interactive Learning Environments*, 2019.
- SN05.** Cheng, Y. Wang, S.-H. Applying a 3D virtual learning environment to facilitate student's application ability - The case of marketing. *Computers in Human Behavior*, 2019.
- SN06.** Evstatiev, B.I. Gabrovska-Evstatieva, K.G. Iliev, T.B. *et al.* Web-based VR engine in electrical engineering: A proof of concept. In: *2017 IEEE 23rd International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging, SIITME 2017 - Proceedings*, 2019.
- SN07.** Fan, L. Chen, J. Miao, Y. *et al.* Multi-vehicle cooperative military training simulation system based on augmented reality. In: *Adjunct Proceedings of the 2019 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR-Adjunct 2019*, 2016.
- SN08.** Gafur, I.A. Zulfarina, Z. Yustinsa, Y. Mixed Reality Application as a Learning System of Motion Systems using Pyramid Hologram Technology. In: *Journal of Physics: Conference Series*, 2018.
- SN09.** Huang, H. Grant, S. Henderson, L. The impact of Chinese language lessons in a virtual world on university students' self-efficacy beliefs. *Australasian Journal of Educational Technology*, 2016.
- SN10.** Huang, H.-L. Hwang, G.-J. Chang, C.-Y. Learning to be a writer: A spherical video-based virtual reality approach to supporting descriptive article writing in high school Chinese courses. *British Journal of Educational Technology*, 2019.
- SN11.** Jara, C.A. Candelas, F.A. Puente, S.T. *et al.* Hands-on experiences of undergraduate students in Automatics and Robotics using a virtual and remote laboratory. *Computers and Education*, 2019.
- SN12.** Kamarainen, A.M. Metcalf, S. Grotzer, T. *et al.* EcoMOBILE: Integrating augmented reality and probeware with environmental education field trips. *Computers and Education*, 2015.

- SN13.** Kirakosian, S. Maravelakis, E. Mania, K. Immersive simulation and training of person-to-3d character dance in real-time. In: 2019 11th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications, VS-Games 2019 - Proceedings, 2019.
- SN14.** emergency situations. Chemical Engineering Transactions, 2007.
- SN15.** Penfold, P. Learning through the world of second life-a hospitality and tourism experience. Journal of Teaching in Travel and Tourism, 2019.
- SN16.** Schneider, J. Romano, G. Drachsler, H. Beyond reality - extending a presentation trainer with an immersive VR module. Sensors (Switzerland), 2019.
- SN17.** Schwaab, J. Kman, N. Nagel, R. *et al.* Using second life virtual simulation environment for mock oral emergency medicine examination. Academic Emergency Medicine, 2018.
- SN18.** Tarng, W. Chen, C.-J. Lee, C.-Y. *et al.* Application of virtual reality for learning the material properties of shape memory alloys. Applied Sciences (Switzerland), 2017.
- SN19.** Yang, J.C. Chen, C.H. Chang Jeng, M. Integrating video-capture virtual reality technology into a physically interactive learning environment for English learning. Computers and Education, 2019.
- SN20.** Yang, U. Kim, G.J. Implementation and evaluation of "just follow me": An immersive, VR-based, motion-training system. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 2020.
- SN21.** Zhang, G. Virtual simulation for history education. In: 26th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, VR 2019 - Proceedings, 2017.

## **Anexo III. Protocolo do Mapeamento Sistemático**

Este anexo apresenta o protocolo do Mapeamento Sistemático que será conduzido após a qualificação.

### **1 Informações Gerais**

#### **1.1 Título**

Immersive Learning: A Systematic Mapping Study

#### **1.2 Pesquisadores**

- Filipe Arantes Fernandes – COPPE/UFRJ
- Eldanae Nogueira Teixeira – COPPE/UFRJ
- Prof.<sup>a</sup> Cláudia Werner – COPPE/UFRJ

#### **1.3 Abreviações**

AI	Aprendizagem Imersiva
MVs	Mundos Virtuais
RA	Realidade Aumentada
RM	Realidade Misturada
RV	Realidade Virtual
RVA	Realidade Virtual e Aumentada
TIs	Tecnologias Imersivas

#### **1.4 Descrição**

Tecnologias Imersivas (TIs) é um termo usado para referenciar diferentes tecnologias, tais como Realidade Virtual (RV), Realidade Aumentada (RA) e Realidade Misturada (RM) (HANDA, AUL e BAJAJ, 2012). A RV é caracterizada por ser um ambiente virtual interativo projetado para simular experiências reais (LEE e CHUNG *et al.*, 2013). A RA permite que os usuários se engajem com informações virtuais sobrepostas ao mundo físico (DUNLEAVY, DEDE e MITCHELL, 2009). A RM é um espaço no qual objetos reais e virtuais são apresentados juntos em uma única exibição (MILGRAM e KISHINO, 1994).

Ao longo dos anos, com o crescente estudo das TIs aplicadas ao ensino, a *Immersive Learning* (ou Aprendizagem Imersiva, em português – AI) surgiu como uma



nova área de pesquisa focada na investigação de métodos inovadores de imersão, engajamento e de motivação que contribuem para o ganho de aprendizado (DE FREITAS e NEUMANN, 2009).

AI está relacionada ao uso de tecnologias, especialmente computação gráfica e tecnologias de interação humano-computador, para criar Mundos Virtuais (MVs), nos quais a aprendizagem pode ocorrer empregando-se abordagens instrucionais e pedagógicas apropriadas (DE FREITAS e NEUMANN, 2009; HERRINGTON *et al.*, 2007; SCHREIBER e MISIAK, 2018). Em outras palavras, AI consiste em uma modalidade educacional, cujos processos de ensino e de aprendizagem ocorrem em ambientes gráficos 3D, criados a partir do uso de diferentes tecnologias, nos quais os alunos participam de forma imersiva. Portanto, AI propicia aprendizagens por meio do desenvolvimento de experiências com TIs.

Nota-se que AI envolve tanto aspectos objetivos quanto subjetivos. Quanto aos aspectos objetivos, entende-se que são todos os itens quantificáveis relacionados aos sistemas de Realidade Virtual e Aumentada (RVA), tais como a gama de dispositivos que podem ser usados para transmitir um estímulo a um ou vários sentidos humanos, bem como o software (*e.g.*, MVs de aprendizagem, *frameworks*, dentre outros). Por outro lado, com relação ao ganho de aprendizado, a fundamentação teórica e pedagógica, bem como a imersão, compreende-se que são características subjetivas da AI.

Apesar da utilização das TIs como apoio nos processos de ensino e aprendizagem, relativamente pouca pesquisa tem sido conduzida para compreender melhor os aspectos teóricos e tecnológicos relacionados com esta recente área de pesquisa (MIKROPOULOS e NATSIS (2011).

Um mapeamento sistemático da literatura visa sintetizar estudos existentes em determinada área de pesquisa analisada e identificar lacunas com o potencial de oferecer orientações futuras. Dessa forma, este protocolo tem como objetivo principal definir o planejamento e a execução de um mapeamento sistemático que irá identificar e analisar estudos da área de pesquisa em AI.

## **2 Planejamento do Mapeamento Sistemático**

### **2.1. Objetivos e Questão de Pesquisa**

O principal objetivo deste mapeamento sistemático é *obter o estado da arte da pesquisa em AI*. O mapeamento irá se concentrar na identificação de estudos primários que reportam o uso de TIs como instrumento de apoio ao processo de ensino e aprendizagem de diversos domínios de aplicação. Além disso, este estudo secundário propõe obter uma visão geral dos aspectos teóricos da AI, as tecnologias utilizadas, bem como métodos utilizados para validar os estudos.

Desta forma, a questão central de pesquisa deste mapeamento sistemático é (QP): “*Quais evidências empíricas existem sobre Aprendizagem Imersiva?*”.

As seguintes questões específicas de pesquisa foram definidas a fim de ajudar na coleta das informações necessárias e em obter uma visão geral do estado da arte da pesquisa em AI:

**QP1.** Qual(is) a(s) definição(ões) de AI e suas principais características?

**QP2.** Qual(is) o(s) suporte(s) tecnológico(s) usado(s) para implementar as abordagens de AI identificadas?

**QP3.** Como as abordagens identificadas foram avaliadas?

A primeira questão de pesquisa (QP1) busca caracterizar a pesquisa em AI do ponto de vista teórico. Por exemplo, na literatura técnica tanto “*immersive learning*” quanto “*immersive education*” são termos utilizados para identificar a pesquisa. Além disso, a própria definição desta área de pesquisa é ambígua. Alguns autores afirmam que a pesquisa é caracterizada principalmente pelo o uso de dispositivos imersivos aplicados ao ensino, tais como *Head-Mounted Display* (HMD), DOMO, CAVE, dentre outros (DE FREITAS e NEUMANN, 2009). Já outros enfatizam que AI caracteriza-se pela evocação do senso de presença independente do equipamento utilizado, como é o caso de algumas abordagens que utilizam o uso de um idioma estrangeiro para ensinar um conteúdo instrucional em vez do uso do idioma materno (JOHNSON e SWAIN, 1997). Portanto, para responder a esta questão serão investigados os seguintes itens, nos quais foram definidos em questões de pesquisa secundárias:

**QP1.1.** Como o termo Aprendizagem Imersiva foi definido nos estudos primários?

**QP1.2.** Quais são os sinônimos, termos ou principais conceitos relacionados à AI?

**QP1.3.** Quais são os domínios de aplicação nos quais a AI foi aplicada?

**QP1.4.** Quais são as abordagens pedagógicas nas quais as aplicações se baseiam?

A questão secundária QP1.1 tem como objetivo identificar definições citadas nos estudos primários. Além disso, palavras-chave, tais como imersão, senso de presença, engajamento, estado de *flow*, dentre outros, são termos encontrados massivamente em pesquisas da área. Contudo, a criticidade está na ambiguidade das definições destes termos. Alguns autores afirmam que imersão está relacionada às características dos dispositivos imersivos (SLATER, 2003; STEUER, 1992), enquanto outros argumentam que ela está associada às questões cognitivas (JENNETT *et al.*, 2008; LEE, 2004; WITMER e SINGER, 1998). O mesmo acontece com os termos senso de presença, engajamento etc. Neste sentido, a QP1.2 preocupa-se em estabelecer um panorama dos principais conceitos relacionados, bem como identificar as definições utilizadas pelos autores. O propósito da QP1.3 é identificar as áreas nas quais a Aprendizagem Imersiva é aplicada, tais como matemática, medicina, STEAM (Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática), dentre outros. Em se tratando de uma aplicação educacional, em tese, deveria estar baseada em alguma teoria, técnica ou método pedagógico. Portanto, a identificação de abordagens pedagógicas será respondida por meio da QP1.4.

A segunda questão de pesquisa (QP2) está relacionada ao âmbito tecnológico da área e definiu-se as seguintes questões secundárias:

**QP2.1.** Quais são os tipos de TIs que foram utilizadas?

**QP2.2.** Quais são os dispositivos imersivos que foram utilizados?

**QP2.3.** Quais são os ambientes de desenvolvimento utilizados para desenvolver as aplicações?

**QP2.4.** Qual são os tipos de soluções propostas nos estudos primários?

Busca-se identificar a frequência de uso da RV, RA e RM (QP2.1), bem como os equipamentos que são utilizados (QP2.2), quais são os softwares que dão suporte ao desenvolvimento das aplicações imersivas (QP2.3) e quais os tipos de contribuições realizadas para área, tais como desenvolvimento de ambiente virtual imersivo educacional ou *framework* teórico para projeto e/ou avaliação de ambientes (QP2.4).

Por fim, a questão secundária QP3 relacionam-se com a avaliação dos estudos primários. Para responder a esta questão foram definidas as seguintes questões de pesquisa secundárias:

**QP3.1.** Quais são os métodos empíricos utilizados nos estudos primários?

**QP3.2.** Quais são as técnicas e indicadores adotados para a coleta e análise dos dados?

A QP3.1 possui o propósito de caracterizar os tipos de estudos primários. A classificação será baseada nos métodos dos estudos primários mais comuns em ES (EASTERBROOK et al., 2007): experimento controlado, *quasi*-experimento, estudo de caso, *survey*, etnografias, pesquisa-ação e método misto. O experimento controlado é uma pesquisa que apresenta hipóteses claras, onde uma variável ou mais variáveis independentes são manipuladas para medir o seu efeito sobre uma ou mais variáveis dependentes. Quando as circunstâncias do experimento controlado não podem ser possíveis, tal como a impossibilidade de escolha aleatória dos sujeitos, pode ser definido como *quasi*-experimento. O estudo de caso oferece compreensão aprofundada de como e porque certos fenômenos ocorrem e pode revelar os mecanismos pelos quais as relações de causa-efeito ocorrem. O *survey* é utilizado para identificar as características de uma população de indivíduos, além de estar mais associado com o uso de questionários de coleta de dados ou entrevistas estruturadas ou técnicas de registro de dados. A etnografia ou o estudo etnográfico é uma forma de pesquisa focada na sociologia do significado através de observações de campo. Uma especificidade deste tipo de estudo é a observação dos participantes, no qual o pesquisador se torna um membro da comunidade a ser estudada por um período. Na pesquisa-ação os pesquisadores têm a pretensão de intervir nas situações estudadas com o propósito explícito de melhorá-las. A pesquisa de método misto emprega técnicas de coleta e análise de dados associadas a dados quantitativos e qualitativos. A pesquisa pode estar usando várias técnicas de coleta de dados ou entre vários estudos. Na QP3.2, pretende-se identificar os materiais e métodos, bem como os indicadores utilizados para validar o estudo. Por exemplo, questionários podem ser aplicados para medir imersão, porém também podem ser utilizadas entrevistas estruturadas, além de dispositivos de sinais biológicos.

## **2.2. Definição do Escopo do Mapeamento Sistemático**

Uma questão de pesquisa bem formulada é geralmente composta e analisada de acordo com diferentes pontos de vista, nos quais definem relevância e especificidade (OLIVEIRA, 2012). Portanto, definiu-se a estrutura PICO (População, Intervenção, Comparação e Resultados) para esta revisão sistemática, baseada nas adaptações de Kitchenham e Charters (2007) e Biolchini *et al.* (2005) realizadas para a área de Engenharia de Software (ES). A população identifica o grupo que será observado pela

intervenção (por exemplo, publicações que tratam do assunto investigado). Intervenção é aquilo que será investigado. Comparação são parâmetros de referência ou um conjunto de dados iniciais que o pesquisador já possua. Em revisões sistemáticas de ES, a comparação não é aplicada. Por fim, os resultados estão relacionados com os fatores considerados importantes para caracterizar o que está sendo investigado e que são de interesse àqueles que farão uso da revisão sistemática. A estrutura PICO deste estudo secundário é apresentada na Tabela 16.

*Tabela 16. Estrutura PICO do estudo*

<b>Campo</b>	<b>Descrição</b>
População	Estudos primários que relatam a utilização da AI como principal abordagem para apoiar o processo de ensino e aprendizagem nos mais diversos domínios de aplicação.
Intervenção	Abordagens de AI que usam TIs como suporte ao ensino e aprendizagem
Comparação ou controle	Não se aplica.
Resultados	Identificação de estudos primários na literatura técnica nos quais relatam o uso de TIs como apoio ao ensino e aprendizagem, bem como os principais conceitos relacionados; os domínios de aplicação; as abordagens pedagógicas que fundamentam os trabalhos; os tipos de TIs; ambientes de desenvolvimento; dispositivos imersivos utilizados; os métodos empíricos; e as técnicas e métricas adotadas para validação dos estudos.

### **2.3. Palavras-chave e *String* de Busca**

As principais palavras-chave deste estudo são baseadas na estrutura PICO definida na Tabela 16.

A partir da população extraiu-se a palavra-chave “**immersive learning**” e da intervenção “**immersive technology**”.

Considerando que a *string* de busca deste estudo será gerada a partir das palavras-chave definidas, a parte de resultados da estrutura PICO definida anteriormente não incluiu nenhum novo termo devido a gama de palavras-chave possíveis, as quais poderiam introduzir uma quantidade desnecessária de estudos primários fora do escopo da pesquisa.

A *string* de busca relaciona as palavras-chave pelo operador lógico AND e, além disso, foram incluídos os possíveis sinônimos de cada palavra-chave relacionados pelo operador lógico OR. A *string* de busca resultante foi:

**(“immersive learning” OR “immersive education” OR “immersive training” OR  
“immersive teaching” OR “immersive course” OR “immersive tutoring” OR  
“immersive discipline”)**

**OR**

**(“immersion learning” OR “immersion education” OR “immersion training” OR  
“immersion teaching” OR “immersion course” OR “immersion tutoring” OR  
“immersion discipline”)**

**AND**

**(“immersive technology” OR “virtual reality” OR “augmented reality” OR  
“mixed reality”)**

## **2.4. Definição das Fontes de busca**

Estudos primários indexados podem ser obtidos por meio da busca utilizando-se a *string* de busca nas diferentes bases bibliográficas, podendo ser complementada por uma busca manual em outras fontes, tais como revistas e anais de eventos da área de pesquisa (KITCHENHAM & CHARTERS, 2007). Portanto, como estratégia de busca dos estudos primários foi definida a busca automática em bases eletrônicas de busca, bem como a busca manual nos eventos e periódicos mais relevantes da área.

A escolha do grupo de bases eletrônicas para as buscas é baseada nos critérios de Dieste *et al.* (2009), que enfatiza a disponibilidade dos estudos primários, cobertura das publicações e conferências relevantes na área e a busca por estudos em inglês.

Mais especificamente para as buscas automáticas, considerou-se as características e limitações das bases bibliográficas identificadas por Brereton *et al.* (2007), Kitchenham e Charters (2007) e Dybå *et al.* (2007): recursos bibliográficos limitados; problemas com o algoritmo de busca; falha no reconhecimento de plurais; resumos ou textos de estudos primários incompletos; e uso de *strings* muito grandes.

Com relação à busca manual, priorizou-se por conferências e revistas que abordam diretamente sobre a recente área de pesquisa AI. Neste caso, conferências que tratam somente sobre educação e TIs não foram consideradas, como é o caso da *IEEE*

*Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (IEEE VR)*<sup>30</sup>. De acordo com os fatores mencionados acima, a Tabela 17 apresenta as fontes definidas para esta revisão sistemática.

*Tabela 17. Lista das fontes de busca*

<b>Tipo de busca</b>	<b>Fontes</b>
Busca automática	Scopus <sup>31</sup> , IEEE Xplore <sup>32</sup> , Science Direct <sup>33</sup> , Springer Link <sup>34</sup> e ACM Digital Library <sup>35</sup>
Busca manual	International Conference on Education Technology and Computers (ICETC) <sup>36</sup> e Journal of Immersive Education (JiED) <sup>37</sup>

## **2.5 Seleção e avaliação de estudos**

O processo de seleção dos estudos primários é definido em duas etapas: a seleção inicial e a seleção final. Inicialmente, os critérios de seleção serão aplicados em todos os estudos candidatos após a leitura de seu título e resumo. Nessa etapa, os estudos somente serão excluídos se eles atenderem claramente um ou mais dos critérios de exclusão (Seção 2.5.1). Estudos incluídos na primeira etapa serão examinados com mais detalhes na segunda etapa, na qual consiste na aplicação dos critérios de seleção após a leitura do texto completo dos estudos. Após a seleção final, a qualidade dos estudos incluídos será avaliada com base nos critérios definidos na Seção 2.5.2.

### **2.5.1. Critérios de inclusão e exclusão dos estudos**

Os critérios de inclusão definem características que um estudo deve conter para ser considerado relevante e, da mesma forma, os de exclusão servem para indicar por qual ou quais critérios um estudo foi excluído. Desta forma, foram estabelecidos os seguintes critérios de inclusão:

---

<sup>30</sup> <http://ieeivr.org>

<sup>31</sup> <https://www.scopus.com/>

<sup>32</sup> <https://ieeexplore.ieee.org/>

<sup>33</sup> <https://www.sciencedirect.com/>

<sup>34</sup> <https://link.springer.com/>

<sup>35</sup> <https://dl.acm.org/>

<sup>36</sup> <http://www.icetc.org/>

<sup>37</sup> <http://jied.org/>

- CI1.** O estudo relata a utilização de tecnologia imersiva para apoiar o processo de ensino ou treinamento;
- CI2.** O estudo propõe ou relata método de desenvolvimento, técnicas ou métricas adotadas para a coleta e análise dos dados.

Abaixo estão definidos os critérios de exclusão:

- CE1.** O estudo não relata a utilização de tecnologia imersiva para apoiar o processo de ensino ou treinamento;
- CE2.** O estudo não propõe ou relata método de desenvolvimento, técnicas ou métricas adotadas para a coleta e análise dos dados;
- CE3.** O estudo não possui um resumo;
- CE4.** O estudo é publicado apenas como resumo;
- CE5.** O estudo não está escrito em inglês;
- CE6.** O estudo é uma versão mais antiga ou menos completa de outro estudo considerado;
- CE7.** O estudo não é um estudo primário;
- CE8.** Não foi possível ter acesso ao estudo.

### **2.5.2. Avaliação da qualidade dos estudos**

Cada publicação será avaliada quanto à qualidade ao mesmo tempo em que o processo de extração de dados da publicação será realizado. Um questionário será elaborado como instrumento de qualidade e será preenchido para cada artigo incluído. O questionário de avaliação consiste em treze critérios de avaliação da qualidade (CQ) e é dividido em quatro partes. A primeira parte possui perguntas para identificar a qualidade do trabalho em relação aos aspectos teóricos da área (CQ1-CQ4); as perguntas da segunda parte visam identificar as tecnologias envolvidas para o desenvolvimento do ambiente imersivo (CQ5-CQ8); as perguntas da terceira parte estão relacionadas com a validade do estudo (CQ8 e CQ9) e, por fim, as perguntas da última parte estão relacionadas com a qualidade do trabalho de um modo geral (CQ10-CQ13). De acordo com as informações acima, as nove questões de avaliação da qualidade usadas são as seguintes:

- CQ1.** O estudo permite responder à questão de pesquisa QP1.1?
- CQ2.** O estudo permite responder à questão de pesquisa QP1.2?
- CQ3.** O estudo permite responder à questão de pesquisa QP1.3?
- CQ4.** O estudo permite responder à questão de pesquisa QP1.4?



**CQ5.** O estudo permite responder à questão de pesquisa QP2.1?

**CQ6.** O estudo permite responder à questão de pesquisa QP2.2?

**CQ7.** O estudo permite responder à questão de pesquisa QP2.3?

**CQ8.** O estudo permite responder à questão de pesquisa QP2.4?

**CQ9.** O estudo permite responder à questão de pesquisa QP3.1?

**CQ10.** O estudo permite responder à questão de pesquisa QP3.2?

**CQ11.** O estudo apresenta um *background* claro e consistente com uma análise de trabalhos relacionados ou pesquisas anteriores?

**CQ12.** O estudo apresenta ou possui trabalhos futuros ou continuidade da pesquisa?

**CQ13.** Qual o número de citações do estudo?

Cada pergunta será respondida como SIM (S) ou NÃO (N), com exceção do CQ13. As perguntas serão pontuadas da seguinte forma:

CQ1: S, o estudo primário fornece explicitamente uma definição própria ou citação de autores sobre a área de pesquisa AI. N, o estudo primário não define explicitamente o conceito de AI.

CQ2: S, o estudo primário apresenta palavras-chave e termos centrais relacionados ao uso de TIs como apoio no processo de ensino e aprendizagem. N, o estudo não demonstra explicitamente termos centrais relacionados à AI.

CQ3: S, o estudo primário demonstra o uso de um ambiente imersivo de aprendizagem em um determinado domínio. N, o estudo não apresenta um domínio de aplicação.

CQ4: S, o estudo primário apresenta uma abordagem ou teoria pedagógica na qual fundamentou o desenvolvimento da aplicação imersiva. N, o estudo não apresenta uma fundamentação pedagógica para o desenvolvimento da solução.

CQ5: S, o estudo primário permite identificar se foi utilizada Realidade Virtual, Realidade Aumentada ou Realidade Mista. N, não é possível identificar qual tipo de tecnologia imersiva foi utilizada no estudo.

CQ6: S, o estudo primário relata os dispositivos imersivos necessários para a utilização do ambiente imersivo de aprendizagem descrito no estudo. N, não é relatado no estudo os dispositivos imersivos para o uso da aplicação imersiva.

CQ7: S, o estudo primário apresenta os ambientes de desenvolvimento necessários para desenvolver a aplicação imersiva. N, o estudo não relata os ambientes de desenvolvimento.

CQ8: S, o estudo primário apresenta algum tipo de solução. N, o estudo não relata proposta de solução.

CQ9: S, o estudo primário possui um método empírico para condução e validação do trabalho. N, o estudo não possui um método de validação da proposta.

CQ10: S, o estudo primário relata as técnicas ou métodos, bem como os indicadores utilizados para a coleta e análise dos dados. N, o estudo não apresenta técnica ou método e não faz análise de validação de dados.

CQ11: S, o estudo primário possui uma fundamentação teórica consistente e lista trabalhos relacionados relevantes. N, o estudo não apresenta uma revisão da literatura significativa, bem como apresenta trabalhos relacionados relevantes.

CQ12: S, o estudo primário descreve os próximos passos da pesquisa. N, o estudo não apresenta futuras direções da pesquisa.

CQ13: Neste critério busca-se uma ideia de rede e visibilidade do estudo. Portanto, será coletado o número de citações de cada estudo.

O procedimento de pontuação será  $S = 1$  e  $N = 0$ . Portanto, o número total de  $S$  define a pontuação da avaliação de qualidade de cada publicação.

### **3. Síntese dos dados e apresentação dos resultados**

#### **3.5. Estratégia de extração de dados**

A partir de cada estudo primário serão extraídos alguns dados, tais como título, autores, data e local de publicação, resumo e se o texto completo está disponível. Além disso, serão coletados dados mais específicos necessários para responder as questões de pesquisa definidas para esta revisão sistemática.

Nesta etapa, três pesquisadores participarão do processo de extração de dados. Os dois primeiros revisores irão coletar os dados para as publicações incluídas no estudo – cada revisor com um conjunto de artigos. O supervisor de doutorado irá revisar esse processo para garantir que os dados obtidos sejam adequados. Para garantir que os requisitos de dados sejam totalmente satisfeitos e os dados obtidos sejam precisos, os artigos serão lidos completamente nesta fase. Todos os dados coletados serão armazenados em uma planilha, garantindo que todas as informações relacionadas ao

estudo sejam armazenadas em um único local. Além disso, isso também nos permitirá comparar e analisar facilmente os dados extraídos durante o processo de síntese. Caso algum revisor tenha dúvida na extração dos dados, este deve contactar outro pesquisador. Mantendo a dúvida, o terceiro pesquisador irá revisar o item divergente e manifestar o seu parecer.

Os dados dos estudos primários serão classificados de acordo com os seguintes critérios:

- A definição de AI (QP1.1);
- Conceitos-chave relacionados à AI (QP1.2);
- O domínio geral e específico da aplicação (QP1.3);
- O domínio específico da aplicação (QP1.3);
- A abordagem pedagógica na qual baseou o desenvolvimento da aplicação imersiva (QP1.4);
- A tecnologia imersiva utilizada (QP2.1);
- O dispositivo imersivo necessário para interagir com a aplicação imersiva (QP2.2);
- O ambiente de desenvolvimento utilizado para desenvolver a aplicação imersiva (QP2.3);
- O tipo de solução desenvolvida (QP2.4);
- O método empírico utilizado pelo estudo primário (QP3.1);
- Técnica para coleta e análise dos dados (QP3.2);
- Indicador adotado para coleta e análise dos dados (QP3.2).

### **3.6. Estratégia de sumarização dos dados**

A estratégia de sumarização de dados define como os dados extraídos dos estudos serão sumarizados e o tipo de análise que será realizada. A sumarização dos dados coletados poderá ser qualitativa (ou descritiva) ou quantitativa, por meio da aplicação de métodos estatísticos (por exemplo, meta-análise) (KITCHENHAM e CHARTERS, 2007).

## **4. Avaliação do Protocolo**

Considerando que o protocolo é um documento que guia toda a revisão sistemática, é de grande importância que este seja devidamente avaliado antes da fase de condução da revisão. Segundo NAKAGAWA *et al.* (2017), recomendam que a avaliação seja feita por

pesquisadores mais experientes, sobretudo quando os pesquisadores que realizarão a revisão forem inexperientes em revisão sistemática ou pesquisa em geral e não tiverem domínio sobre o tema a ser investigado.

A avaliação deste protocolo está dividida em duas etapas: *checklist* e estudo piloto. A primeira etapa tem como objetivo revisar os principais itens com perguntas relevantes para a qualidade da revisão. Após esta etapa, o protocolo será executado a fim de identificar melhorias e contribuir para a qualidade da revisão. Este processo será iterativo e incremental até que os pesquisadores concluam que o protocolo poderá ser executado. Mais detalhes destas etapas são apresentados a seguir.

#### **4.5. Checklist**

Um *checklist* para avaliar o protocolo, proposto por KHAN *et al.* (2003), foi adotado e contém as seguintes perguntas:

- Os objetivos da revisão estão claramente descritos?
- As questões de pesquisa definidas são claras e objetivas?
- As fontes a serem pesquisadas para identificar os estudos primários foram descritas? Houve alguma restrição?
- A *string* de busca é devidamente derivada das questões de pesquisa?
- Os critérios de inclusão e exclusão estão descritos claramente? Não haverá dúvidas em como aplicá-los?
- Está claro se os critérios de qualidade serão utilizados? Os critérios de qualidade e a forma como serão aplicados estão descritos claramente?
- Os campos definidos no formulário de extração de dados são suficientes para responder às questões de pesquisa?
- A maneira como os dados extraídos serão analisados e sumarizados está descrita? Ela é suficiente para responder às questões de pesquisa?

Todos os pesquisadores revisarão o protocolo guiados por estas perguntas. Ao identificar alguma inconsistência e oportunidade de melhoria, o revisor irá apresentar sua sugestão, na qual será discutida entre os três pesquisadores deste estudo.

#### **4.6. Estudo Piloto**

De acordo com Kitchenham e Charters (2007), o protocolo deve ser avaliado antes que se prossiga com a revisão, pois a qualidade do protocolo tem impacto direto nos resultados da revisão sistemática. Essa avaliação deve ser realizada por meio do teste do protocolo,

também chamado de estudo piloto, cujo objetivo é verificar a viabilidade de execução da revisão, permitindo também, com base nos resultados do teste, identificar modificações que sejam necessárias.

É essencial para o sucesso do estudo piloto que se tenha disponível um conjunto de estudos primários nos quais devem ser retornados a partir da condução da revisão. Este conjunto, também denominado grupo de controle, pode ser criado por meio de uma revisão informal, realizada antes da revisão, e/ou por meio da sugestão de especialistas da área (NAKAGAWA *et al.*, 2017).

A fim de avaliar a qualidade deste protocolo, primeiramente, definiu-se o grupo de controle com estudos primários, nos quais são apresentados na Tabela 18. Estes estudos primários foram identificados por meio de revisão *ad-hoc* da literatura, bem como a aplicação da técnica *snowballing* que consiste em avaliar a lista de referências de um estudo primário relevante, a fim de procurar por outros estudos primários relevantes.

*Tabela 18. Grupo de controle*

#### **Estudos primários**

- Bhattacharjee, D., Paul, A., Kim, J. H., & Karthigaikumar, P. (2018). An immersive learning model using evolutionary learning. *Computers & Electrical Engineering*, 65, 236-249.
- De Freitas, S., Rebolledo-Mendez, G., Liarokapis, F., Magoulas, G., & Poulouvasilis, A. (2010). Learning as immersive experiences: Using the four-dimensional framework for designing and evaluating immersive learning experiences in a virtual world. *British Journal of Educational Technology*, 41(1), 69-85.
- Ip, H. H., Li, C., Leoni, S., Chen, Y., Ma, K. F., Wong, C. H. T., & Li, Q. (2018). Design and Evaluate Immersive Learning Experience for Massive Open Online Courses (MOOCs). *IEEE Transactions on Learning Technologies*.

Em seguida, o protocolo será executado pelos dois primeiros pesquisadores com o propósito de verificar se foram retornados todos os estudos primários do grupo de controle. Caso algum estudo não seja retornado, será verificado o motivo pelo qual este não foi identificado e, paralelamente, a etapa de *checklist* será executada novamente a fim de refinar o protocolo. Persistindo alguma inconsistência e/ou em caso de dúvidas, o terceiro pesquisador será consultado para contribuir com a revisão do protocolo.

## 5. Referências

- Biolchini, J.; Mian, P.G.; Natali, A.C.C.; Travassos, G.H. (2005) Systematic review in software engineering., Relatório Técnico, RT-ES 679/ 05, Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/ UFRJ).
- Brereton P, Kitchenham BA, Budgen D, Turner M, Khalil M. Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. *J. Syst. Softw.* 2007;80(4):571–583.
- De Freitas, S., & Neumann, T. (2009). The use of ‘exploratory learning’ for supporting immersive learning in virtual environments. *Computers & Education*, 52(2), 343-352.
- Dieste, O., Grimán, A., & Juristo, N. (2009). Developing search strategies for detecting relevant experiments. *Empirical Software Engineering*, 14(5), 513-539.
- Dunleavy, M., Dede, C., & Mitchell, R. (2009). Affordances and limitations of immersive participatory augmented reality simulations for teaching and learning. *Journal of Science Education and Technology*, 18,7-22.
- Dybå, T.; Dingsøyr, T.; Hanssen, G.K. (2007) Applying systematic reviews to diverse study types: an experience report. 1st International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement (ESEM 2007), p. 225-234.
- Easterbrook, S., Singer, J., Storey, M. A., & Damian, D. (2008). Selecting empirical methods for software engineering research. In *Guide to advanced empirical software engineering* (pp. 285-311). Springer, London.
- Handa, M., Aul, G., & Bajaj, S. (2012). Immersive technology—uses, challenges and opportunities. *International Journal of Computing & Business Research*, 6(2), 1-11.
- Herrington, J., Reeves, T. C., & Oliver, R. (2007). Immersive learning technologies: Realism and online authentic learning. *Journal of Computing in Higher Education*, 19(1), 80-99.
- Jennett, C., Cox, A. L., Cairns, P., Dhoparee, S., Epps, A., Tijs, T., & Walton, A. (2008). Measuring and defining the experience of immersion in games. *International journal of human-computer studies*, 66(9), 641-661.
- Johnson, R. K., & Swain, M. (Eds.). (1997). *Immersion education: International perspectives*. Cambridge University Press.
- Khan, K.S.; Kunz, R.; Kleijnen, J.; Antes, G. (2003) Systematic reviews to support evidence-based medicine: how to review and apply findings of healthcare research. 2. edição, CRC Press.
- Kitchenham, B.A.; Charters, S. (2007) Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering – version 2.3, Keele/ Staffs-UK and Durham-UK.
- Kitchenham, B.A.; Charters, S. (2007) Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering – version 2.3, Keele/Staffs-UK and Durham-UK.
- Lee, H.-G., Chung, S., & Lee, W.-H. (2013). Presence in virtual golf simulators: The effects of presence on perceived enjoyment, perceived value, and behavioral intention. *New Media&Society*, 15, 930-946.
- Lee, K. M. (2004). Presence, explicated. *Communication theory*, 14(1), 27-50.
- Mikropoulos, T. A., & Natsis, A. (2011). Educational virtual environments: A ten-year review of empirical research (1999–2009). *Computers & Education*, 56(3), 769-780.
- Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Info and Systems*, 77, 1321-1329.

- Nakagawa, E. Y., Scannavino, K. R. F., Fabbri, S. C. P. F., & Ferrari, F. C. (2017). Revisão sistemática da literatura em Engenharia de Software: teoria e prática. Elsevier Brasil.
- Oliveira, L. B. R., Osório, F. S., & Nakagawa, E. Y. (2012). A Systematic Review on Service-Oriented Robotic Systems Development. Relatório Técnico, (373).
- Schreiber, A., & Misiak, M. (2018, July). Visualizing software architectures in virtual reality with an island metaphor. In International Conference on Virtual, Augmented and Mixed Reality (pp. 168-182). Springer, Cham.
- Slater, M. (2003). A note on presence terminology. *Presence connect*, 3(3), 1-5.
- Steuer, J. (1992). Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence. *Journal of communication*, 42(4), 73-93.
- Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence*, 7(3), 225-240.