

ALEXANDRE RIBEIRO SILVA JÚNIOR

REALIDADE VIRTUAL PERVASIVA: UMA PROPOSTA CONCEITUAL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Doutor. Área de Concentração: COMPUTAÇÃO VISUAL.

Orientador: Prof. Dr. Esteban Walter Gonzales Clua

Niterói

2018

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

S586r Silva júnior, Alexandre Ribeiro
REALIDADE VIRTUAL PERVASIVA: UMA PROPOSTA CONCEITUAL /
Alexandre Ribeiro Silva júnior ; Esterban Walter Gonzales
Clua, orientador ; Luiz Valente, coorientador. Niterói, 2018.
103 f. : il.

Tese (doutorado)-Universidade Federal Fluminense, Niterói,
2018.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PGC.2018.d.05035110648>

1. Virtualidade Pervasiva. 2. Pervasividade. 3. Realidade
Mista. 4. Ciência de Contexto. 5. Produção intelectual. I.
Gonzales Clua, Esterban Walter, orientador. II. Valente, Luiz,
coorientador. III. Universidade Federal Fluminense. Escola de
Engenharia. IV. Título.

CDD -

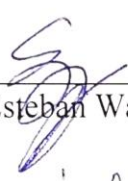
ALEXANDRE RIBEIRO SILVA JÚNIOR

REALIDADE VIRTUAL PERVASIVA: UMA PROPOSTA CONCEITUAL

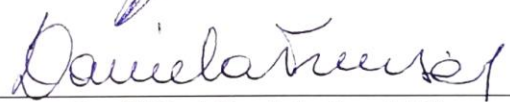
Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Doutor. Área de Concentração: COMPUTAÇÃO VISUAL.

Aprovada em Novembro de 2018.

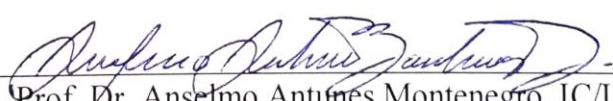
BANCA EXAMINADORA



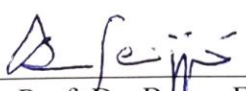
Prof. Dr. Esteban Walter Gonzalez Clua – Orientador, IC/UFF



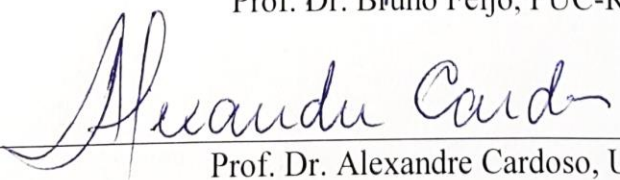
Prof.^a Dr.^a Daniela Gorski Trevisan, IC/UFF



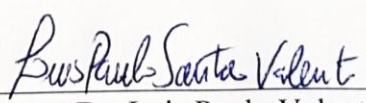
Prof. Dr. Anselmo Antunes Montenegro, IC/UFF



Prof. Dr. Bruno Feijó, PUC-Rio



Prof. Dr. Alexandre Cardoso, UFU



Dr. Luis Paulo Valente

Niterói

2018

Dedico esta tese à minha família e à minha esposa Sandra Sales

AGRADECIMENTOS

Desafio tão grande quanto escrever esta Tese, foi utilizar apenas uma página para agradecer as pessoas que fizeram parte desta minha trajetória. Início os agradecimentos por meus pais Alexandre e Tânia, que sempre primaram pela minha Educação. Obrigado por, além de me oferecerem a oportunidade de estudar, sempre estarem presentes. Uma vez dentro da Universidade, algumas pessoas me convenceram a continuar os estudos após a graduação, mostrando-me a nobre função da Pesquisa: produzir novos conhecimentos. Tenho que agradecer ao Professor e sempre Amigo, Esteban Walter Gonzales, por sempre acreditar que minha experiência deveria ser submetida à Ciência. Obrigado pelas constantes demonstrações de sabedoria e humildade. Não posso deixar de agradecer também a um grande amigo e incentivador, que mesmo nas horas difíceis me ajudou. Obrigado Luis Valente, sem você essa caminhada teria sido muito árdua. O presente trabalho foi realizado com o apoio da CAPES UFF/IFTM (AUXPE – DINTER/SETEC 0085/2013) – Brasil. Agradeço esta instituição pelo apoio financeiro e, principalmente pelo interesse nesse estudo. Não poderia deixar de agradecer também à Universidade Federal Fluminense e toda sua equipe e professores que me acolheram tão bem. Aos amigos Wilton, Eliana e Júlio César que muito me ajudaram nesta caminhada.

Meu agradecimento mais profundo só poderia ser dedicado a uma pessoa: minha Esposa. O tempo todo ao meu lado, incondicionalmente. Nos momentos mais difíceis, que não foram raros neste último ano, sempre me fazendo acreditar que chegaria ao final desta difícil, porém gratificante etapa. Obrigado Sandra Sales.

RESUMO

O recente avanço nas tecnologias e no mercado de Realidade Virtual vem abrindo novas oportunidades de interação e imersão. Juntamente com isto, técnicas mais acuradas de visão computacional, inteligência artificial e sensores de profundidade permitem realizar com mais precisão mapeamentos do mundo real, transpondo diversas informações para o cenário virtual. De fato, o conceito de realidade mista tem se tornado mais popular e inclusive substituído a terminologia de realidade virtual ou realidade aumentada, em muitos casos. Neste trabalho observamos que a tradicional taxonomia de Milgram e Colquhoun não são capazes de abranger com exatidão o potencial e as capacidades da realidade mista. Assim sendo, propomos inicialmente uma extensão de tal taxonomia e propomos o conceito de Realidade Virtual Pervasiva (RVP), sendo este um ambiente acrescido de elementos reais/físicos, incorporados ao ambiente virtual como objetos e usando dispositivos sensíveis ao contexto (por exemplo, sensores e tecnologia wearable). Além disto, propomos um detalhamento de requisitos e características da RVP, capaz de descrever a engenharia deste tipo de sistemas. Propomos também uma arquitetura e uma implementação de um sistema que atende parcialmente estes conceitos. Como prova de conceito, apresentamos a incorporação deste sistema em um *game engine* comercial, bem como exemplificamos seu uso em uma implementação prática.

Palavras-chave: Realidade Mista, Virtualidade Pervasiva, Pervasividade, Ciência de Contexto

ABSTRACT

Recent advances in virtual reality (VR) technologies have fostered a growing market with new opportunities for immersive and interactive applications. Additionally, robust techniques currently available for visual computing, artificial intelligence, and depth sensors enable accurate mapping of real objects to virtual and mixed reality environments. Indeed, mixed reality has become a popular concept in applications, surpassing virtual reality and augmented reality in some cases. In this work we argue that traditional mixed reality taxonomy (by Milgram and Colquhoun) is inaccurate to describe the potential opportunities of mixed realities. Hence, in this work we propose an extension to this traditional mixed reality taxonomy through Pervasive Virtuality (RVP), as a mixed reality environment coupled with real/physical objects and context-aware devices (e.g. sensors, wearable devices). We also propose a set of RVV requirements to design RVP-based systems, along with an architecture and a system that fulfills some of these requirements. As a proof of concept, we present a system implementation using commercial game engine.

Keywords: Mixed Reality, Pervasive Virtuality, Pervasiveness, Context-awareness

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Reality-Virtuality continuum, extraído de Milgram e Coautores (Milgram e Colquhoun Jr, 1999)	17
Figura 2 – Extensão da taxonomia de Milgram e Colquhoun (Milgram e Colquhoun Jr, 1999) de ambientes reais e virtuais (Valente <i>et al.</i> , 2016a).....	26
Figura 3 – Estendendo a taxonomia de Milgram e Colquhoun (Milgram e Kishino, 1994). Extraído de (Valente <i>et al.</i> , 2018)	28
Figura 4 – Exemplos em um <i>continuum</i> de realidade mista, usando o toque como um sentido secundário extraído de (Valente <i>et al.</i> , 2018)	30
Figura 5 – Requisitos e características de Virtualidade Pervasiva	35
Figura 6 – Componentes da arquitetura de realidade virtual pervasiva.....	48
Figura 7 – Arquitetura central do sistema RVP proposto.....	49
Figura 8 - (a) The Void Game Stage (Robertson e Popper, 2017), - (b)- (Martindale, 2015).....	52
Figura 9 – Processamento de eventos do sistema RV pervasiva	53
Figura 10 – SoudThimble (Burloiu <i>et al.</i> , 2017) extraído de (Initiatives, 2018).....	56
Figura 11 – Artanim Motion Capture, extraído de (Artanim, 2015)	58
Figura 12 – Creepy Tracker open-source toolkit, extraído de (Sousa <i>et al.</i> , 2017).....	59
Figura 13 – VRTracker System (Thuillier <i>et al.</i> , 2017)	61
Figura 14 – a) Sensor de Temperatura; b) Sensor de som; c) Sensor ultrassônico;	65
Figura 15 – Exemplo utilização sensor ultrassônico sistema de ventilação	66
Figura 16 – Myo Gesture Control, extraído de (Scott, 2014).....	68
Figura 17 – Leap Motion extraído de (Westover, 2013)	69
Figura 18 – Sistema de dispositivos de RV Pervasiva conectados à rede	71
Figura 19 – Dispositivos e Conexões em virtualidade pervasiva	73
Figura 20 – Validação Sistema de Capturas Movimentos e biblioteca de gerenciamento de rastreamento (Silva, 2017).....	77
Figura 21 – Representação usuário no espaço do jogo. Paredes linhas tracejadas, marcadores inteligentes (esferas sombreadas) e marcadores estáticos (esferas transparentes)	80
Figura 22 – Um marcador inteligente usando uma matriz de LED 5x5. Os LEDs estão dispostos a representar a letra "M" neste exemplo	80
Figura 23 – Sistema de rastreamento	82
Figura 24 – Pipeline de processamento da aplicação	82

Figura 25 – Marcadores estáticos (pontos isolados) e marcadores inteligentes (padrões de letras A, B, C e D).	84
Figura 26 – Erros de precisão.	85
Figura 27 – Um jogador na sala de teste com um aquecedor no chão e sua correspondente visualização HMD.	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Categorias da geração do mundo virtual em virtualidade pervasiva	37
--	----

SUMÁRIO

Capítulo 1 – Introdução	14
Capítulo 2 – Conceitos Correlatos	17
2.1 Realidade mista.....	17
2.2 Computação ubíqua e pervasiva	18
2.3 Virtualidade aumentada e realidade aumentada	19
2.4 Jogos Pervasivos	20
2.5 Jogos de realidade alternativa	23
Capítulo 3 – Virtualidade Pervasiva	24
3.1 Extensão do continuum reality-virtuality	25
3.2 Objetos proxy.....	30
3.3 Panorama atual em realidade virtual pervasiva	31
3.4 Requisitos não funcionais de virtualidade pervasiva.....	33
Capítulo 4 – Requisitos e características de realidade virtual pervasiva	35
4.1 Virtualidade (vir)	36
4.1.1 Geração do mundo virtual (VWG)	36
4.1.2 Apresentação do conteúdo virtual (vcp)	38
4.1.3 Autonomia de simulação (sa)	38
4.2 Socialidade (soc).....	39
4.2.1 Presença social (sp).....	39
4.2.2 Questões éticas (eth)	40
4.2.3 Segurança (saf)	41
4.2.4 Envolvimento de não participante (npi)	41
4.3 Espacialidade (spa)	42
4.3.1 Mobilidade (Mob).....	42
4.4 Comunicabilidade (comm)	42
4.4.1 Conectividade (Con).....	43

4.4.2 Comunicação de estágio de simulação (ssc).....	43
4.5 Ciência de contexto (ssc)	43
4.5.1 Geração de Conteúdo dinâmico (ssc)	44
4.5.2 Adaptabilidade da atividade de simulação (saa).....	44
4.6 Interação (int).....	44
4.6.1 Interação tangível (ti).....	45
4.6.2 Interação multimodal (mi)	45
4.6.3 Interação body-baseed (bi)	45
4.6.4 Interação baseada em sensor (si)	45
4.7 Resiliência (res)	46
4.7.1 Política de tratamento de incerteza (uhp)	46
4.7.2 Estimulação da atividade de simulação (sap)	47
4.7.3 Consistência da realidade mista (mrc)	47
Capítulo 5 – Arquitetura proposta para sistemas de rvp.....	48
5.1 Sistema rv pervasiva	48
5.1.1 Módulo de gerenciamento espacial.....	50
5.1.2 Módulo de interface	51
5.1.3 Módulo de interação	57
5.1.4 Módulo de gerenciamento de rastreamento	57
5.1.5 Módulo de gerenciamento de dispositivos	61
5.2 Redes.....	69
5.2.1 Arquitetura de redes para dispositivos passivos.....	70
5.2.2 Arquitetura de redes para dispositivos ativos	72
5.2.3 Rede de sensores.....	73
5.3 Motor de jogos	74
5.4 Validação conceitual dos módulos do sistema	75
5.4.1 Comunicabilidade, virtualidade e espacialidade.....	75

5.4.2 Segurança, consistência e tratamento de incertezas	76
Capítulo 6 – Implementação de uma aplicação de navegação indoor baseado no sistema proposto	79
6.1.1 Aplicação de navegação indoor	79
6.1.2 Hardware do sistema de rastreamento	81
6.1.3 Pipeline de processamento do sistema.....	82
6.2 Protótipo de demonstração do jogo	84
6.2.1 Análise dos requisitos encontrados no protótipo de demonstração do jogo	86
Capítulo 7 – Conclusões	90

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Atualmente, as maiores empresas de tecnologia do mundo estão explorando a realidade virtual (RV), que é uma simulação totalmente gerada por computador (por exemplo, Oculus Rift, HTC Vive e Google Daydream). Além disso, no outro extremo a indústria está investindo na realidade aumentada (RA), com intuito de superar o mundo real com conteúdo digital através de dispositivos HMD transparentes (por exemplo, Hololens, Meta e Magic Leap).

Durante muitas décadas, o termo "realidade virtual" foi associado a aplicativos que usam apenas exibições visuais. Neste mercado, a realidade virtual e a realidade aumentada são basicamente aplicações visuais. Poucas aplicações exploram outros sentidos, como audição e toque. No entanto, recentemente, uma nova forma de experiência de realidade virtual começou a surgir. A disponibilidade de novos dispositivos juntamente com redes sem fio rápidas, tecnologias abrangentes e dispositivos compatíveis com contexto (por exemplo, sensores e internet das coisas) - traz um potencial para o desenvolvimento de novas aplicações de entretenimento digital. O amadurecimento de técnicas de visão computacional, câmeras com profundidade, técnicas de rastreamento de objetos, dentre outras, vêm possibilitando que sejam utilizados objetos reais como elementos de interfaces para estes cenários virtuais. As definições atuais da realidade virtual e realidade mista são muito genéricas e não podem lidar com essa nova classe de experiência. A mídia tem se referindo a esta nova situação como virtualidade real (Void, 2016), hiper-realidade (Artanim, I., 2015a), ou mesmo realidade híbrida (Kimmorley, 2017), porém não apresentam definições precisas e diretrizes para auxiliar o projeto conceitual deste tipo de aplicação. Ainda mais preocupante é a falta de diretrizes para auxiliar o projeto conceitual deste tipo de aplicação, especialmente quando tem se o entretenimento digital em mente.

Esta tese tem como principal objetivo e contribuição propor uma pesquisa exploratória com o conceito de realidade virtual pervasiva, apresentando uma definição e um levantamento de requisitos para tais aplicações. A presente tese explora e detalha os resultados de quatro trabalhos anteriores (Valente, Clua, *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2016; Valente *et al.*, 2016b; Valente *et al.*, 2018), os quais foram fundamentais para o desenvolvimento do conceito de realidade virtual pervasiva e de suas características.

Procura-se em primeiro lugar, esclarecer o conceito e defini-la como uma nova linha no espectro da realidade virtual, com base em *proxy elements*¹ e ciência de contexto e a dominância de um sentido (geralmente a visão). A solução proposta nesta tese é manter o alcance geral do termo "realidade virtual", considerando-o como um caso prototípico ideal em uma vasta coleção de situações. Propõe-se usar o termo "realidade virtual pervasiva RVP" para representar a evolução do ambiente virtual de sentido único em direção a esse caso protótipo ideal. Nesse caso, o termo "pervasiva" captura a ideia de elementos do "mundo real" que permeiam ou se espalham através do mundo "virtual" como objetos.

Em segundo lugar, pretende-se estender o conjunto original de requisitos apresentados em (Valente, Feijó, *et al.*, 2015) considerando aplicações de realidade virtual pervasiva. Nessa segunda contribuição, não pretende-se esgotar o assunto, mas apresentar um conjunto robusto de requisitos para auxiliar o projeto conceitual deste tipo de realidade pervasiva. Além disso, apresenta-se uma proposta de um sistema que procura seguir as especificações levantadas. Finalmente, realiza-se um estudo de caráter exploratório dentro deste contexto.

O presente trabalho está organizado da seguinte forma. Em primeiro lugar, o capítulo 2 apresenta um panorama dos conceitos correlatos e especificações de cada área aplicada, bem como definições e conceitos importantes. O capítulo 3 define e caracteriza "realidade virtual pervasiva" como uma nova área do espectro da realidade virtual e apresenta uma extensão da taxonomia proposta por (Milgram e Kishino, 1994) a fim de acomodar princípios e métodos a esta nova realidade. Não estamos apresentando um conceito inteiramente novo, mas, ao contrário, propomos uma nova taxonomia de realidade pervasiva mais adequada ao desenvolvimento desses produtos.

O capítulo 4 define requisitos e características fundamentais para criação e desenvolvimento da realidade virtual pervasiva. Inicialmente é apresentado um mapa conceitual com dois níveis, sendo o primeiro relacionado aos requisitos e o segundo às características com intuito de determinar aspectos importantes relacionados a aplicação. O capítulo 5 apresenta uma proposta de uma arquitetura de realidade virtual pervasiva que comporte uma estrutura (sistema, redes, motor de jogos) suficiente que possa ajudar designers e desenvolvedores a entender o domínio da aplicação, requisitos e características para o desenvolvimento de novas aplicações. Ao final do capítulo, como prova de validação do sistema, apresenta-se alguns resultados encontrados de conceitos dos requisitos. O capítulo 6 apresenta resultados e validações de um

¹ Um objeto "proxy" é objeto físico (um objeto sólido) que age como um intermediário entre o usuário e um objeto virtual, fazendo com que o usuário possa experimentar outros sentidos (ou variações de sentidos) no ambiente da simulação.

sistema de navegação indoor que utiliza a arquitetura proposta. Com a finalidade de validar a proposta, em um primeiro momento foram apresentadas fases da criação de sistema de navegação, desenvolvimento do hardware e o *pipeline* desse sistema. Ao final do capítulo, foram apresentados alguns dos requisitos propostos nesta tese em um jogo demonstrativo com doze participantes. Por fim, o capítulo 7 apresenta as conclusões e formalizações do conceito.

CAPÍTULO 2 – CONCEITOS CORRELATOS

2.1 REALIDADE MISTA

Em 1994, (Milgram et. al 1994) propuseram um espectro capaz de representar as possíveis variações de realidade mista (Figura 1). Neste contexto, a realidade mista representa um ambiente de aplicação que mistura elementos virtuais com elementos do mundo real. Esta classificação é adotada frequentemente para descrever diversos cenários existentes no contexto de realidade virtual e realidade aumentada. Em ambientes de realidade mista (Figura 1), os usuários navegam pelos ambientes real e virtual ao mesmo tempo. Em vez de residir em um mundo inteiramente virtual, isto é, realidade virtual, os objetos virtuais são ancorados no espaço real do usuário e aumentam seu ambiente real, fazendo com que as interações virtuais pareçam reais. Essas interações imitam o comportamento natural de interação, como objetos ficando maiores à medida que se aproxima e a mudança de perspectivas à medida que se move em torno de um objeto. Quando os mundos real e virtual são mesclados, novos ambientes e visualizações tornam-se possíveis, dessa forma objetos físicos e digitais podem coexistir e interagir em tempo real. Embora exista uma correlação entre as áreas, a realidade virtual pervasiva é fundamentalmente diferente da realidade mista, uma vez que, na RVP o usuário não vê o ambiente real, apesar de utilizá-lo como base para a criação do cenário que o mesmo está inserido.

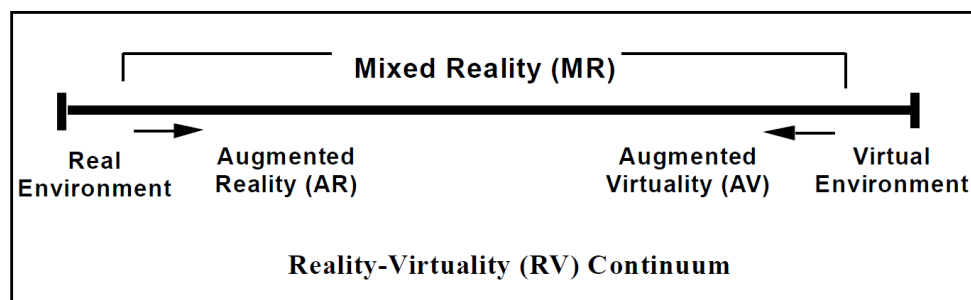


Figura 1: Reality-Virtuality continuum, extraído de Milgram e Coautores (Milgram e Colquhoun Jr, 1999)

2.2 COMPUTAÇÃO UBÍQUA E PERVASIVA

A computação ubíqua foi um paradigma tecnológico apresentado por Mark Weiser (Weiser, 1991) em 1991. Foi definido como o método de melhorar o uso do computador, disponibilizando muitos computadores em todo o ambiente físico, mas tornando-os invisíveis para o usuário (Obaidat *et al.*, 2011) independentemente de onde estiverem. Isto implica na existência de uma grande quantidade de elementos da computação disponíveis em um determinado ambiente físico e constituídos em rede. Nesse paradigma, os dispositivos computacionais estariam embutidos ou integrados a utensílios, mobília e eletrodomésticos comuns, comunicando-se através de redes sem fio, tornando-se “invisíveis” aos usuários e adaptando seu funcionamento e comportamento às atividades humanas (Valente, Feijó, *et al.*, 2015).

Graças à atual disponibilidade de sensores, internet sem fio de alta velocidade e dispositivos portáteis, a implementação desse paradigma está se tornando viável. Esses equipamentos usam sensores para capturar informações do ambiente onde eles estão inseridos, utilizando esses dados nas mais diversas tarefas. As informações são dinâmicas, fazendo com que o comportamento das aplicações varie conforme as condições do momento, que pode ser entendido como o “contexto”. (Dey, 2001) define “contexto” como “qualquer informação que pode ser usada para caracterizar a situação de uma entidade (pessoa, lugar ou objeto) que é considerada relevante para a interação entre um usuário e um aplicativo, incluindo o usuário e próprios aplicativos”. Dessa forma, diz-se que esses equipamentos “*smart*” são “sensíveis ao contexto”, o que é fundamental para se concretizar a visão de computação ubíqua. Sete anos depois, a IBM definiu um conceito semelhante ao de computação ubíqua, denominando-o de “computação pervasiva”, da seguinte forma: “A computação pervasiva é a tecnologia que permite às pessoas obter acesso imediato a informações e serviços em qualquer lugar, a qualquer momento ...”. A computação pervasiva visa a melhorar significativamente a experiência humana e a qualidade de vida sem a consciência explícita das tecnologias de computação e comunicações subjacentes. O termo “jogos pervasivos” refere-se a jogos que são jogados no mundo real, explorando a mobilidade, realidades mistas e ciência de contexto, entre outros aspectos. Neste cenário, o mundo real é apropriado para os propósitos do jogo, uma vez que qualquer elemento no espaço físico em que o jogo acontece pode fazer parte do jogo.

Nosso conceito de computação ubíqua e pervasiva está alinhado com definições bem conhecidas deste termo na literatura, o que significa que este tipo de realidade integra objetos

virtuais perfeitamente ao ambiente real e preserva tantos sentidos humanos quanto possível. No entanto, transformar objetos virtuais em reais é um caso mais complicado e quase não possui exemplos. Na realidade virtual pervasiva, três conceitos são frequentemente correlacionados: computação pervasiva, computação ubíqua e ciência de contexto. Em UV, o objeto virtual ou o conteúdo se tornam parte do ambiente real. Nesse contexto, “ubíquos” é diferente de “pervasivo”. Apesar de existir uma correlação entre os conceitos, a realidade virtual pervasiva, que será definida e detalhada neste trabalho, é fundamentalmente diferente da computação pervasiva, uma vez que na realidade virtual pervasiva o usuário utiliza o ambiente real como elemento de interação, mas não é capaz de visualizá-los.

2.3 VIRTUALIDADE AUMENTADA E REALIDADE AUMENTADA

A virtualidade aumentada (AV) e a realidade aumentada (AR) são transições entre o mundo real e o mundo virtual. Eles não se referem aos graus de imersão em evolução usando objetos *proxy* para uma experiência imersiva mais completa. Um objeto “proxy” é objeto físico (eg. um objeto sólido) que age como um intermediário entre o usuário e um objeto virtual, fazendo com que o usuário possa experimentar outros sentidos (ou variações de sentidos) no ambiente da simulação. AV e AR não são uma realidade virtual pervasiva no mesmo sentido que não são uma realidade virtual tradicional. No caso da visão como o único sentido humano usado na simulação, a virtualidade aumentada (AV) é diferente da realidade virtual pervasiva, porque em AV os objetos do mundo real são projetados em conteúdo virtual e os HMDs que o usuário usa (se houver) necessariamente são dispositivos transparentes. Um exemplo destes dispositivos são os óculos da Microsoft “*Hololens*”, capaz de projetar gráficos digitais sobre a visão que o usuário tem do ambiente físico do mundo real.

Na realidade aumentada, um usuário vê o mundo físico (através de uma câmera de dispositivo móvel ou dispositivo móvel) e a aplicação projeta o conteúdo virtual em cima dos elementos do mundo físico. Alguns exemplos de aplicações e jogos desta categoria são casos antigos, mas clássico de realidade aumentada nesta modalidade. ARQuake (Piekarski e Thomas, 2002), é um jogo *indoor* e ao ar livre onde o jogador usa uma mochila contendo um laptop, um sensor de orientação e um sensor GPS, que permitem ao jogador andar livremente em um ambiente físico. O sistema de rastreamento no ARQuake é baseado em GPS, bússola digital e marcadores fiduciais. O jogo ocorre em um ambiente físico que é modelado como um nível 3D do Quake, um antigo jogo em primeira pessoa para Pcs. A realidade mista em

ARQuake pode ser classificada como "realidade aumentada" de acordo com a taxonomia proposta por (Milgram e Colquhoun Jr, 1999).

A realidade virtual pervasiva é fundamentalmente diferente da “realidade aumentada”, porque os usuários de RVP não sentem o mundo físico diretamente (ou seja, eles experimentam o mundo através de objetos proxy como intermediários). Na realidade aumentada, um usuário vê o mundo físico (por meio de um HMD ou uma câmera de dispositivo móvel) e o aplicativo coloca os conteúdos virtuais em cima dos elementos do mundo físico. Por outro lado, na RVP, o usuário vê um mundo virtual que é construído com base nas características do mundo físico, incluindo seus elementos arquitetônicos e informações contextuais.

2.4 JOGOS PERVASIVOS

O termo "jogos pervasivos" refere-se a jogos que são jogados no mundo real, explorando mobilidade, realidades mistas e ciência de contexto, entre outros aspectos. A definição do que é um jogo pervasivo continua a ser debatida na literatura, pois não existe consenso sobre definições e formalismos sobre esses tipos de jogos (Valente, Feijó, *et al.*, 2015). Além disso, existem termos na literatura que são usados como sinônimos de jogos pervasivos, como: "jogos de realidade mista", "jogos ubíquos", e até mesmo "jogos de realidade aumentada". Na prática, a literatura apresenta várias interpretações e escopos para definir o que "Jogos pervasivos" significam (Nieuwdorp, 2007; Valente, Feijó, *et al.*, 2015), embora sejam distintos conceitualmente e empreguem diferentes ideias de organização e gestão de serviços computacionais. Valente e coautores (Valente, Feijó, *et al.*, 2015) enumeraram algumas características comumente encontradas em jogos pervasivos, que são:

1. O jogo está constantemente voltando para o mundo real, o que significa que o jogo é jogado em lugares físicos e não é limitado a um ambiente computacional;
2. O mundo físico (lugares, objetos) faz parte do jogo e é combinado com o mundo virtual, criando uma realidade mista;
3. A realidade mista é sempre existente e é criada através de tecnologias de computação pervasiva (por exemplo: sensores, sistemas sensíveis ao contexto);
4. A mobilidade espacial ocorre em um "ambiente físico aberto", ou seja, ocorre em um ambiente físico que pode não ter fronteiras bem definidas;

5. Os jogadores usam dispositivos móveis (por exemplo: *smartphones*, *tablets*, hardware personalizado) para interagir com o jogo e com outros jogadores;
6. O jogo pode durar vários dias ou semanas, podendo se misturar com a vida diária dos jogadores. O jogo pode definir um mundo persistente que progride sem intervenção do jogador. Se algum evento importante acontece no jogo, o jogo pode notificar o jogador para que tome uma atitude. Esses aspectos não são obrigatórios;
7. O jogo pode se concentrar na promoção da interação social entre os jogadores. Interação social em um jogo pervasivo pode ocorrer diretamente (interação face a face) ou indiretamente (mediado através da tecnologia). Este aspecto não é obrigatório, pois jogos pervasivos podem ser jogos de um único jogador.

Segundo (Vázquez, 2009) os jogos pervasivos são radicalmente uma nova categoria de jogo, capazes de ampliar as experiências dos jogos de videogame para o mundo físico. As características desta área produzem experiências novas de jogos que se misturam com nossas vidas diárias através dos dispositivos. A computação pervasiva visa a melhorar significativamente a experiência humana e a qualidade de vida sem consciência explícita das tecnologias e das comunicações computacionais subjacentes. O termo "jogos pervasivos" refere-se a jogos que são jogados no mundo real, explorando mobilidade, realidades mistas e ciência de contexto, entre outros aspectos. O mundo real é incorporado ao ambiente do jogo, portanto qualquer objeto no espaço físico em que o jogo ocorre pode fazer parte do cenário. Essas interpretações podem ser grosseiramente divididas em "perspectivas culturais" (por exemplo, design de jogo, estudos de jogo, que levam "pervasiva" em seu sentido literal) e "perspectivas tecnológicas" (por exemplo, computação omnipresente e disseminada).

O conceito de RV em jogos pervasivos já foi utilizado no passado, tal como os trabalhos apresentados pelo *Virtuality Group* (Wikipedia, 2015), que revelou máquinas de *arcade* de realidade virtual na década de 1990. Essas máquinas continham um HMD, caixas de som, microfone e joysticks e já possuíam soluções para rastrear movimentos de cabeça e joystick através de um sistema magnético. Os jogos lançados nesta plataforma incluem *Dactyl Nightmare* (Gaming, 2014) e *Grid Busters* (Gaming, 2013). Outra tentativa de trazer jogos baseados em VR para o *mainstream* veio da Nintendo e do console de jogos do Virtual Boy em 1995. Embora o sistema tenha sido original, foi um fracasso comercial. (King e Krzywinska, 2006) sugeriram que o alto preço e o desconforto físico ao utilizá-lo contribuíram para o desaparecimento desse dispositivo. Trabalhos anteriores apresentaram propostas de jogos

pervasivos como: *Can you see me now* e *Human Pacman* (Cheok *et al.*, 2004) entre outros. A maioria destes jogos não apresenta um estudo sobre as características de um jogo pervasivo e a sua utilização durante o projeto do mesmo (Vázques, 2009). O jogo *Touch-Space* (Cheok *et al.*, 2002) apresenta uma análise sobre como combinar diferentes tecnologias para criar um jogo pervasivo. Segundo (Vázques, 2009), seus criadores projetaram o sistema para funcionar em etapas bem definidas. O jogo possuía um claro enfoque em tentar combinar os diversos equipamentos da forma mais transparente possível e se preocuparam em avaliar a interação social. Apesar de os jogadores avaliarem positivamente o jogo, a comparação foi feita exclusivamente com jogos de videogames. Além disso, itens como a realidade ficam comprometidos, devido ao uso excessivo de equipamentos de realidade virtual, pois o jogador é basicamente remetido para o ambiente virtual, restando pouca interação para o mundo físico. Neste escopo, destacam-se também o *Environmental Detectives* desenvolvido por (Klopfer *et al.*, 2002) e *Savannah* desenvolvido por (Facer *et al.*, 2004). No primeiro jogo, os estudantes devem pesquisar sobre um acidente químico em um campus de uma universidade e sugerir um curso de ação a ser tomado. Jogadores trabalham em equipes para descobrir as causas e a origem da contaminação. Para isso, eles deveriam pesquisar na internet e usar seu conhecimento para obter informações sobre os tipos de produtos químicos relacionados ao acidente. Contrário ao que os pesquisadores imaginaram, a maioria dos alunos foi diretamente atrás da fonte de contaminação e não se preocuparam em obter maiores informações sobre os componentes químicos. Já no segundo, o jogo coloca estudantes no papel de leões em uma savana virtual. Seu objetivo é fazer os estudantes entenderem o comportamento dos leões, usando interação entre os participantes para organizar ataques e a troca de conhecimento. O trabalho apresenta uma extensa avaliação dos méritos do jogo e de suas falhas que poderiam ter sido evitadas se as características que as causam fossem utilizadas desde a concepção das ideias iniciais do jogo. Essas falhas incluem regras mal formuladas e retorno inapropriado às ações dos usuários. Os jogos são projetados para entreter, portanto, itens como diversão, enredo, continuidade, estética e fluxo devem dominar a especificação de seus requisitos. Para serem atraentes e jogados repetidamente, os jogos de computador devem lidar com as emoções de um jogador e, como resultado, os jogos incluem requisitos emocionais. Esses requisitos podem ser gerenciados usando mapas de terreno emocional, mapas de intensidade emocional e cronogramas de emoção (Draper, 1999). No entanto, não há práticas estabelecidas para capturar e especificar esses requisitos. De acordo com (Callele *et al.*, 2005) a validação de jogos é muito complexa. A natureza multidisciplinar e complexa do processo de desenvolvimento de jogos de videogames (com arte, som, jogabilidade, sistemas de controle, humanos) são fatores que podem contribuir

com essas falhas. Requisitos como diversão e absorção não são bem compreendidos na perspectiva da engenharia de requisitos, combinando problemas de comunicação entre *designers* de jogos e engenheiros de software. Os designers de jogos podem não entender, por exemplo, as limitações da inteligência artificial ao projetar personagens, enquanto os engenheiros de software podem não entender a visão criativa ou podem estar dispostos a comprometer essa visão com pressa para enviar o produto. (Callele *et al.*, 2005). Assim, a realidade virtual pervasiva é diferente da realidade mista encontrada em jogos pervasivos, embora eles possam compartilhar semelhanças (por exemplo, ciência de contexto e reprodução em lugares físicos).

2.5 JOGOS DE REALIDADE ALTERNATIVA

O termo "jogo de realidade alternativa" (ARG) pode sugerir que esses jogos trazem o jogador para uma espécie de realidade que é muito diferente de uma configuração do mundo real. ARGs sugerem um cenário surrealista onde o jogo nega sua existência "como um jogo". O *slogan* principal desses jogos é "isso não é um jogo". ARGs usam o mundo real como uma plataforma e criam uma narrativa interativa abrangente como enigmas maciços, *puzzles* e utilizam diferentes mídias, como *sites*, *e-mails* e telefone chamadas. Os criadores de jogos, criam conteúdo (real e virtual) e orientam a história de acordo com as reações dos jogadores. O jogo é propositadamente ambíguo, de modo que os jogadores sempre questionam se as atividades do jogo são realmente parte do jogo, ou parte da vida do mundo real. Isso inclui descobrir como entrar no jogo e adivinhar se acabou. Um exemplo de ARG inicial é The Beast (Szulborski, 2007), que fazia parte de uma campanha de marketing para o filme A.I. Inteligência Artificial (Spielberg, 2001). O jogo começou com uma pergunta, "Quem matou Evan Chan?", e depois evoluiu para uma história interativa que havia sido implantada pela internet e pelo mundo real. O jogo em si não foi anunciado como um jogo, e seu ponto de entrada foi escondido em cartazes do filme A.I. Depois de seguir as pistas, o jogador poderia acessar "elementos do mundo real" (como mensagens de voz do jogo) que abriram as portas para o enredo. Os *designers* de jogos criaram *sites* falsos e outros conteúdos multimídia para apoiar o jogo através de enigmas e outras interações. Além disso, às vezes, o jogo faz chamadas telefônicas para os jogadores. Alguns pesquisadores classificam ARGs como um tipo de "jogo pervasivo" (Szulborski, 2005; McGonigal, 2006; Montola *et al.*, 2009).

CAPÍTULO 3 – VIRTUALIDADE PERVASIVA

A realidade virtual pervasiva (RVP) é um conceito proposto neste trabalho e compreende um ambiente de realidade virtual que é construído e enriquecido usando fontes de informação do mundo real. Elementos reais e físicos são incorporados ao ambiente virtual, usando dispositivos com reconhecimento de contexto (por exemplo, sensores, técnicas de visão computacional e tecnologia *wearable*). Esta extensão do conceito de realidade virtual pode ser alcançada através do uso de dispositivos HMD, redes sem fio e outros dispositivos. Em RVP, o usuário se locomove em um ambiente virtual ao caminhar fisicamente em um ambiente físico (exposto a sons, calor, umidade e outras condições ambientais) o que o permite explorar o ambiente de forma intuitiva e imersiva. Nesse ambiente virtual, o usuário pode tocar, transportar, mover e colidir com objetos físicos. No entanto, o usuário só pode ver representações virtuais desses objetos, ou seja, apesar de caminhar e interagir com o ambiente real os usuários não veem nenhum conteúdo do mundo real. Mesmo quando um usuário fisicamente aperta a mão de outro usuário, ele/ela não tem ideia sobre as características reais desse outro usuário (por exemplo, gênero, aparência, características físicas), vendo na verdade um avatar que o representa. Sendo assim, a experiência neste novo tipo de realidade mista pode ser intensa e imersiva.

Uma simulação RVP gera o mundo virtual e o conteúdo virtual com base em fontes de informação do mundo real (IS) que são: (IS1) a arquitetura do ambiente físico; (IS2) objetos físicos que residem no ambiente; e (IS3) informações de contexto (Virtualidade e Ciência de contexto). Definimos este ambiente da simulação da RVP como “*simulation stage*” ou “*game stage*” (no caso de aplicações que são jogos).

As fontes do ambiente físico consistem em:

a) Arquitetura do ambiente físico (IS1): a RV pervasiva mapeia o ambiente real para o ambiente virtual. Embora a experiência desse novo tipo de realidade seja extremamente intensa e imersiva, a RVP requer um lugar físico dedicado (*Game Stage*) para criar uma instalação física personalizada, devido à infraestrutura necessária para criar a realidade mista nos jogos. O uso de uma instalação dedicada e personalizada também ajuda a implementar uma "política de manipulação de incerteza" para remover “ou minimizar” os problemas causados pelas limitações das tecnologias envolvidas, como redes e sensores. O local físico pode ser "aumentado" com uma infraestrutura dedicada que permite ao jogo detectar informações de contexto. Exemplos incluem a instalação de tecnologia de rastreamento e sensores para coletar informações do ambiente proposto. A saída física (*output*) pode assumir forma como efeitos do

mundo real e a manipulação de propriedades do ambiente, tais como temperatura, iluminação, vibrações e até mesmo odores.

b) Objetos físicos que residem no ambiente (IS2): o RVP transforma objetos físicos em equivalentes virtuais representando sua geometria no ambiente virtual e rastreando-os de alguma forma, através de sensores conectados a uma rede sem fio. O sistema também pode rastrear objetos físicos que fazem parte deste ambiente físico e mapeá-los no mundo virtual como modelos 3D. Exemplos desses objetos físicos são móveis, objetos interativos carregados por um jogador e até mesmo os próprios corpos dos jogadores. No entanto, transformar objetos virtuais em reais pode trazer complicações técnicas que transcendem o escopo desta tese. Na maioria dos aplicativos de realidade mista encontrados na literatura simplesmente se justapõe objetos reais e virtuais através da projeção de artefatos visuais.

c) Informações de contexto (IS3): os mundos virtuais e reais são superpostos, exigindo que os usuários se movam fisicamente no ambiente e usem diferentes paradigmas de interação (como interação tangível e incorporada) para completar as atividades propostas. Este novo tipo de realidade virtual pervasiva pode ser alcançado usando dispositivos, redes sem fio e dispositivos sensíveis ao contexto (por exemplo, sensores e tecnologia *wearable*).

Sendo a RV pervasiva uma nova área da realidade virtual, não possui definições apropriadas, princípios de *design* e métodos para orientar *designers* e pesquisadores. Embora, existam princípios e métodos para outras áreas afins à realidade pervasiva, é necessário criar uma taxonomia que possa lidar com situações em que objetos físicos reais são transformados em objetos virtuais e vice-versa. Para tal, propomos estender a taxonomia proposta por Milgram e Colquhoun (Milgram, 1999), sendo capaz de acomodar este novo tipo de "realidade".

3.1 EXTENSÃO DO CONTINUUM REALITY-VIRTUALITY

Milgram and Colquhoun (Milgram e Kishino, 1994) propuseram em 1994 uma taxonomia (*reality-virtuality continuum*) que se tornou a referência tradicional à realidade mista Figura 1.

Com base nessa taxonomia, empresas conhecidas possuem suas próprias referências para se referir a aplicações de realidade virtual: "realidade mista" (por exemplo, Microsoft), "realidade aumentada" (por exemplo, Facebook) ou "computação imersiva" (por exemplo, Google). No entanto, o conceito de aplicações de realidade virtual e o uso desses três termos na

indústria devem ser melhor definidos à luz da tecnologia atual e novas possibilidades para a introdução de mais sentidos junto à visão. Considerando somente o sentido da visão, as aplicações de realidade mista simplesmente sobrepõem objetos reais e virtuais através da projeção de artefatos visuais. Essencialmente, nestas aplicações, "virtualidade aumentada" consiste em um mundo virtual aumentado com uma imagem ou vídeo real (ou seja, não gerado por computador) mapeado em objetos virtuais. Um exemplo comum de virtualidade aumentada é um vídeo de um rosto humano real projetado na cabeça de um avatar em um mundo virtual. "Realidade aumentada" é o mesmo processo ao contrário. Pode-se pensar em estender essas interpretações incorporando sons, ou mesmo objetos táteis. Nesse caso, a "realidade aumentada" aumentaria o mundo real com objetos digitais de qualquer tipo. No entanto, essa extensão simplificada não pode lidar com situações em que objetos reais são transformados em objetos virtuais e vice-versa (ou seja, objetos virtuais se tornam objetos reais). O problema é deixar claro como o mundo real e o mundo virtual evoluem quando são misturados com mais de um sentido. Milgram e Colquhoun referem-se a qualquer continuidade entre os mundos real e virtual. No entanto, isso é muito genérico para dar uma base efetiva ao desenvolvimento de produtos para situações de realidade mista. Uma nova taxonomia se faz necessária para que seja possível definir situações em que os objetos físicos reais sejam mapeados em contrapartidas virtuais, e vice-versa (ou seja, objetos virtuais tornam-se reais objetos). Propõe-se identificar a primeira situação como "RV pervasiva" e a situação posterior como "virtualidade ubíqua". Estas situações representam uma melhor fusão da realidade e da virtualidade, que vai além de uma simples projeção visual mapeada. Nesses novos ambientes, os objetos transformados devem funcionar como um objeto *proxy*.

A Figura 2 ilustra uma proposta para ampliar a taxonomia de Milgram e Colquhoun com novos conceitos.

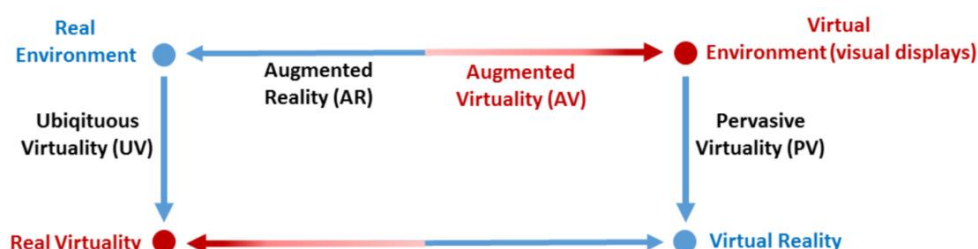


Figura 2 – Extensão da taxonomia de Milgram e Colquhoun (Milgram e Colquhoun Jr, 1999) de ambientes reais e virtuais (Valente *et al.*, 2016a)

A virtualidade aumentada é diferente da RV pervasiva. No primeiro, objetos do mundo real são projetados em conteúdo virtual e os HMDs que o usuário usa, necessariamente são

dispositivos de visualização. A RV pervasiva é também diferente da realidade mista encontrada em "jogos pervasivos" (Valente, Feijó, *et al.*, 2015), embora possam compartilhar semelhanças (por exemplo, ciência do contexto). Essencialmente, os jogos pervasivos baseiam-se na ideia de um mundo real aumentado com conteúdo virtual através da ciência de contexto, possibilitado pelos dispositivos e sensores colocados no ambiente físico, transportados pelos jogadores enquanto se movem no mundo real. A “virtualidade ubíqua” (UV) significa que esse tipo de realidade mista integra objetos virtuais perfeitamente no ambiente real e preserva tantos sentidos humanos quanto possível. Esse conceito está alinhado com definições bem conhecidas deste termo na literatura (Kim *et al.*, 2006). No entanto, transformar objetos virtuais em reais é um assunto muito mais complicado e quase não há exemplos a serem mencionados. A holografia computacional é uma tecnologia potencial a esse respeito, mas essa é uma área de pesquisa ainda em construção. Materiais inteligentes que podem mudar sua forma através de determinados campos magnéticos ou alterar sua textura em resposta a uma mudança de tensão também podem ser usados, mas também estão em fase experimental.

A Figura 2 ilustra que a RV pervasiva evolui ambientes virtuais visuais para o que pode ser considerado a verdadeira "realidade virtual" - um ambiente com forte sensação de imersão e presença devido à existência de vários sentidos humanos. Por outro lado, o UV tende a evoluir para "virtualidade real" - um mundo virtual tão convincente que não se pode distingui-lo trivialmente do mundo real. Embora com o advento da tecnologia e o baixo custo dos produtos tecnológicos (HMD, sensores e tecnologia *wearable*) hoje em dia, não se possui tecnologia de realidade virtual que garanta compatibilidade total entre todos os sentidos. Isso significa que, se um sentido entrar em conflito com outro, a imersão será dificultada ou possivelmente destruída. Uma solução comum para este problema é a resolução de conflitos sensoriais, considerando o domínio de um sentido sobre os outros.

O domínio de um sentido sobre outros permite que elementos reais sejam incorporados em um ambiente virtual como objetos *proxy* (Insko, 2001; Razzaque *et al.*, 2001). A ideia é começar com a situação básica que contém apenas um sentido (geralmente visão) e se movem progressivamente dessa situação para níveis de imersão mais profundos contendo mais sentidos (e dominados pelo sentido básico). Cada vez que se adiciona um novo sentido, cria-se outro espectro de realidade aprimorado conectando os mundos real e virtual. Pode-se continuar com esse processo até chegar a uma situação complexa contendo todos os sentidos humanos (o que provavelmente não é acessível na prática). A Figura 3 ilustra essa ideia, como uma extensão da taxonomia de (Milgram e Kishino, 1994). Cada barra representa uma situação de realidade, em que os triângulos sombreados representam influências dos extremos contínuos e as setas

representam as transições descendentes. A Figura 3 representa um espaço conceitual 2D de situações de realidade mista, que podem ser percorridas horizontal e verticalmente. A figura mostra também um contínuo vertical correspondente a níveis de realidade mista no mundo real (no lado esquerdo do diagrama) e ao mundo virtual (no lado direito do diagrama). As setas verticais (de cima para baixo) representam a evolução neste contínuo.

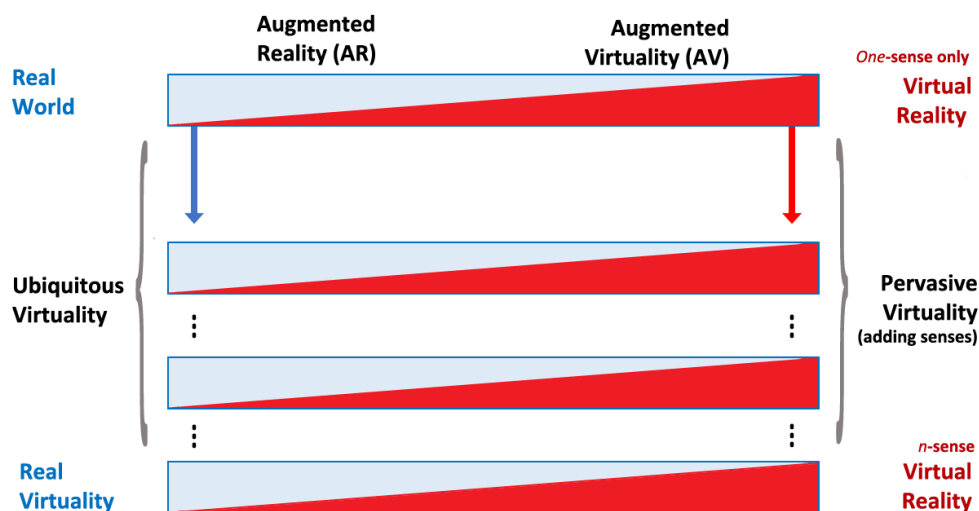


Figura 3 – Estendendo a taxonomia de Milgram e Colquhoun (Milgram e Kishino, 1994). Extraído de (Valente *et al.*, 2018)

Em qualquer parte do lado direito, o usuário está usando dispositivos sensíveis ao contexto (por exemplo, sensores e tecnologia *wearable*) embutidos em um ambiente de rede sem fio, o que permite que ele se mova livremente em um mundo preenchido com objetos *proxy* que existem por causa da dominância de um sentido (normalmente a visão). No entanto, como mencionado acima, a taxonomia abrange todas as situações de realidade mista e diferentes possibilidades surgem quando se altera o sentido dominante. A Figura 3 contém uma série de constantes de realidades (mostradas como barras horizontais) a partir de uma realidade básica que contém apenas um sentido - o sentido dominante. Caso se opte por começar com a visão como o sentido dominante, a *mixed reality continuum* corresponde à taxonomia original de (Milgram, 1999), no que se refere ao sistema de exibição. Em qualquer um desses contínuos, a Realidade Aumentada (AR) corresponde a situações mais próximas do lado esquerdo (o lado do mundo real) e a Virtualidade Aumentada (AV) corresponde a situações mais próximas do lado direito (o lado do mundo virtual).

As barras horizontais na Figura 3 são preenchidas com triângulos sombreados para representar a influência de situações extremas no contínuo de realidade mista. Por exemplo, se a visão é o sentido dominante, o lado direito da Figura 3 representa situações em que o usuário está visualmente isolado do mundo real usando dispositivos HMD. Embora tenhamos apenas exemplos de ambientes de realidade mista com visão como o sentido dominante (como a maioria das aplicações atuais da realidade virtual), a taxonomia na Figura 3 é válida para qualquer sentido dominante. Por exemplo, caso a audição seja o sentido dominante para usuários cegos (e eliminar a visão completamente), a audição domina o toque quando ocorrem conflitos. Essa configuração seria importante no espaço de locomoção, onde a audição pode ser o sentido dominante para o usuário. No entanto, em um espaço próximo, ou seja, em áreas que podem ser exploradas sem alterar a posição do corpo, pode-se usar o toque como o sentido dominante quando a visão é removida. Essa possibilidade poderia abrir oportunidades para criar aplicativos de virtualidade abrangentes para usuários com deficiência visual, onde toque ou audição poderia ser o sentido dominante. Embora existam alternativas no entretenimento digital para pessoas com deficiência visual (Valente *et al.*, 2009; Csapó *et al.*, 2015; Matsuo *et al.*, 2016), foram encontrados poucos trabalhos na literatura sobre realidade virtual e objetos de *proxy* para esta deficiência (Lahav *et al.*, 2012).

As setas verticais na Figura 3 (de cima para baixo) representam o espectro de realidade mista que evoluem para ambientes mais complexos. Esses extremos do espectro de realidade mista mais imersiva (*Real Virtuality e Realidade Virtual*) são protótipos, casos ideais, que provavelmente são difíceis de serem implementados na prática. Ao lado direito do espectro vertical, o RVP melhora ambientes virtuais de sentido único em direção ao que consideramos de "n-sentidos da realidade virtual" - um ambiente com forte imersão e presença devido à existência de vários sentidos humanos, mas sempre com a dominância de um sentido (geralmente visão) para resolver conflitos de sentido. O lado esquerdo no *espectro* vertical representa uma situação de realidade mista completamente diferentes que integra objetos virtuais ao ambiente real e preserva tantos sentidos humanos quanto possível. Nesse caso, não se usa objetos de *proxy* como na RV pervasiva. Em um mundo real, se criado um objeto virtual que se comporte como um objeto real em relação a mais de um sentido, então estará ao lado esquerdo do espectro vertical. Chama-se essa situação de "virtualidade ubíqua" (UV), que está alinhada com definições bem conhecidas deste termo na literatura (Kim *et al.*, 2006). Esta situação posterior tende a evoluir para "virtualidade real" - um mundo virtual tão convincente que não se pode distingui-lo facilmente do mundo real. Existem dois exemplos dessa situação

na Figura 4, na qual a barra horizontal representa certo nível de imersão envolvendo visão e toque.

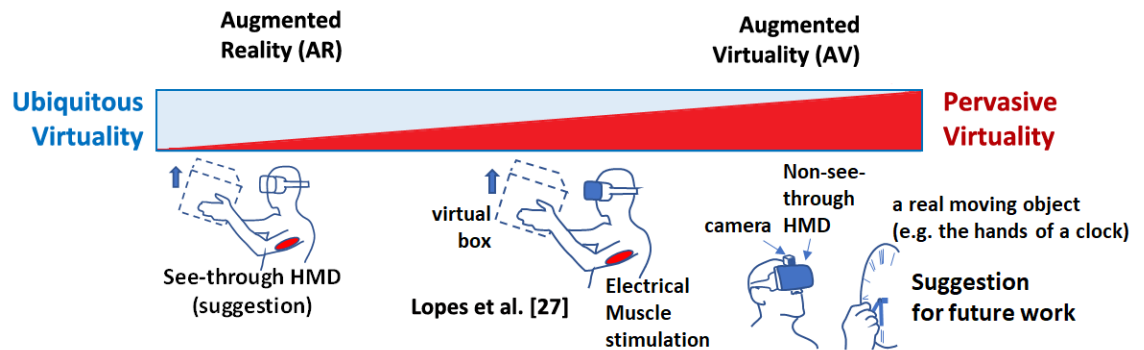


Figura 4 – Exemplos em um *continuum* de realidade mista, usando o toque como um sentido secundário extraído de (Valente *et al.*, 2018)

No primeiro exemplo, a simulação insere um objeto em movimento real (por exemplo, as mãos de um relógio). No segundo exemplo, um sistema atua os músculos do ombro, braço e pulso do usuário por meio da estimulação muscular elétrica, como o trabalho de (Lopes *et al.*, 2017). Este último sistema permite que um usuário sinta o peso e a resistência de um objeto virtual. A Figura 4 também apresenta um exemplo de realidade aumentada (AR) próximo ao lado esquerdo do diagrama. Nesse exemplo, o usuário está usando um dispositivo HMD transparente e usando o mesmo dispositivo de estímulo elétrico proposto por (Lopes *et al.*, 2017). Nesse caso, o usuário experimenta a sensação de agarrar algo concreto no ar, apenas à sua frente, mantendo outros sentidos.

3.2 OBJETOS PROXY

Objetos proxy são necessários, uma vez que, a simulação direta e simultânea de dois ou mais sentidos é muito difícil. Apesar de mais de 50 anos de desenvolvimento da realidade virtual (desde Ivan Sutherland em 1965), a visão (o sentido mais fácil de simular) ainda está longe de ser uma reprodução completa e confiável. Os avanços na renderização física (Pharr *et al.*, 2016) alcançaram uma simulação precisa da física da luz e sua interação com a matéria, mas imagens geradas por computador de uma cena 3D ainda estão longe de reproduzir a percepção visual humana. Há muitos problemas em aberto.

Os problemas em simular outros sentidos são ainda mais complexos e difíceis. Por exemplo, o nível de desenvolvimento na renderização de som está muito aquém do atual nível de renderização foto realista, porque as ondas sonoras são mais complexas do que os raios de luz. Reflexos sonoros e atenuações são afetados por espalhamento e difrações causadas por oclusões (por exemplo, uma coluna física). Raios de luz ignoram objetos atrás de uma coluna física, enquanto ondas sonoras preenchem todo o espaço. Elas são afetadas por objetos visualmente ocluídos, (podem ecoar, podem difratar) ao passar entre duas colunas próximas e alcançar um ouvinte com informações diferentes em cada ouvido (Xie, 2013). Recentes avanços na renderização sonora melhoraram consideravelmente a simulação auditiva (Yao, 2017; Yuan *et al.*, 2017), mas ainda estão longe de serem totalmente satisfatórios. Outro exemplo é o sentido tátil, que é difícil de simular. A simulação tátil restringe-se a situações pequenas e locais de sensações cenestésicas, enquanto que as simulações cutâneas de alta qualidade (o outro tipo de sensação tátil) são raras na literatura.

3.3 PANORAMA ATUAL EM REALIDADE VIRTUAL PERVASIVA

A RV pervasiva está relacionada aos objetos de *proxy* e ao domínio de N sentidos. Embora os *proxies* possam ser qualquer elemento no mundo real, a literatura atual se concentra no uso de objetos físicos para criar experiências hápticas. Nesta perspectiva, todos os trabalhos que foram identificados atualmente como um ambiente de virtualidade pervasiva, hoje são uma evolução de um conceito antigo proposto por (Hoffman, 1998) chamado "*tactile augmentation*". O *tactile augmentation* é uma forma de realidade mista onde os usuários sentem objetos reais rastreados em posição (com a mão) que correspondem a objetos virtuais vistos em um ambiente virtual imersivo. Na verdade, Hoffman apresentou essa ideia em 1996 em uma reunião das American Psychological Sciences. Estritamente falando, o "*tactile augmentation*" é uma aplicação de um conceito anterior chamado "acessos de interface passiva do mundo real" (Hinckley *et al.*, 1994), que mais tarde (Lindeman *et al.*, 1999) chamou de "feedback passivo-háptico". O termo "passivo" contrasta com o conceito de "sistemas ativos de *feedback* háptico", que corresponde a sistemas diretamente controlados por computadores. Insko (Insko, 2001) melhorou o conceito de "*tactile augmentation*" ao perceber que os objetos físicos de baixa fidelidade aprimoram muito os ambientes virtuais. Em uma progressão de melhoria contínua, um objeto físico simples também pode se transformar em um objeto virtual de forma diferente, através de um processo chamado "*redirect touching*" (Kohli *et al.*, 2012), ou mesmo se

transformar em múltiplos objetos virtuais através de um processo definido como "*retargeting haptics*" (Azmandian *et al.*, 2016). A pesquisa sobre esta área evoluiu para combinar hápticos ativos e passivos, como o "*feedback háptico passivo dinâmico*" (Zenner e Krüger, 2017), onde o *proxy* físico é capaz de alterar sua distribuição de peso interno para simular objetos virtuais que mudam de forma e espessura (como percebido pelos usuários).

Todos os exemplos acima mencionados possuem a visão geralmente como o sentido dominante. No entanto, a visão também pode dominar os sinais vestibulares, como na técnica de "redirecionamento de caminhada" inicialmente proposta por (Klatzky *et al.*, 1998) e melhorada por Razzaque (Razzaque *et al.*, 2001).

A visão pode ser integrada com todos os outros sentidos e dominar todos eles. Stokes (Stokes e Biggs, 2014) é uma referência recente sobre o domínio da visão, na qual a interação da visão com outros sentidos é amplamente analisada.

Existem várias obras na literatura que se referem essencialmente ao que chamamos de "RV pervasiva", como: "*Hyper Reality*" (Void, 2016a), "Realidade substitutiva" (Simeone *et al.*, 2015b), Realidade virtual (Artanim, 2015) e "*Reality Skins*" (Shapira e Freedman, 2016).

The Void (Void, 2015b), define realidade mista baseada na estrutura do mundo real, onde os jogadores se movem e caminham. O ambiente onde o jogo acontece são chamados de "*gaming pods*". Eles pretendem fornecer diferentes tipos de sensações para os jogadores, incluindo "mudanças de elevação, toque de estruturas e objetos, vibrações, pressão do ar, frio e calor, umidade, e simulação de líquidos e cheiro" (Void, 2015b). Apesar dos jogadores não enxergarem o ambiente real, o mesmo utiliza um sistema de câmeras ótico externo, o que possui um elevado custo financeiro e computacional, além de uma necessidade de calibração das câmeras. Artanim Interactive (Artanim, I., 2015b; Kenzan, 2015) por sua vez, propõe o conceito de "Real Virtuality", onde os jogos se utilizam de um HMD e tem seus corpos e movimentos capturados por um sistema de captura de movimentos (*Motion Capture*) instalado fisicamente no ambiente, permitindo que os usuários possam se mover fisicamente pelo ambiente de realidade mista. Os jogadores também podem transportar objetos físicos dentro do ambiente, enquanto o jogo exibe sua representação virtual.

Nenhum dos trabalhos anteriores apresenta uma definição geral, uma taxonomia adequada ou requisitos de qualidade desse novo paradigma. As obras de (Simeone, 2015; Simeone *et al.*, 2015b) (Simeone e Velloso, 2015) estão entre os poucos até o presente momento que exploram uma orientação para lidar com questões relacionadas à RV pervasiva. Quanto aos requisitos (ou qualidades) não funcionais de aplicações baseadas em paradigmas de realidade virtual pervasiva, há poucos trabalhos que exploram esse assunto. Valente et al.

(Valente, Feijó, *et al.*, 2015) propuseram uma taxonomia de requisitos não funcionais para jogos móveis pervasivos. Também na área de jogos pervasivos, (Guo *et al.*, 2010) e (Nevelsteen, 2015) exploraram características para este tipo de aplicação .

3.4 REQUISITOS NÃO FUNCIONAIS DE VIRTUALIDADE PERVASIVA

Ao experimentar o mundo virtual, um usuário caminha em um ambiente físico (por exemplo, uma sala), podendo tocar paredes físicas e outros elementos físicos (como, objetos físicos que residem no ambiente, como mobiliário). A RV pervasiva pode ser melhor compreendida explorando suas características que serão definidas como requisitos não-funcionais (qualidades) para aplicações nesta tese.

Uma simulação RVP gera o mundo virtual e o conteúdo virtual com base em fontes de informação do mundo real, podendo ser a arquitetura do ambiente físico, objetos físicos que residem no ambiente e informações de contexto. No que diz respeito à fonte de informação do ambiente físico (IS1 - 4.1.1), a simulação constrói um mundo virtual baseado na arquitetura do ambiente, ou seja, uma combinação estrutural, mantendo dois mundos sobrepostos. Essa situação permite ao usuário experimentar a realidade virtual pervasiva com pelo menos cinco sentidos: visão, toque, audição, sentido cinestésico (por exemplo, sensação de movimento e consciência corporal) e o sentido vestibular (por exemplo, senso de equilíbrio).

O mundo virtual pode não ser uma cópia exata do ambiente físico, em relação a características estéticas. Por exemplo, uma aplicação pode simular o interior de uma nave espacial ou uma caverna medieval usando a arquitetura física de uma sala de escritório. O processo de construção virtual do mundo pode acontecer em tempo real ou antes da sessão de simulação. Nesta etapa de preparação, o sistema deverá rastrear diversas características físicas relevantes para gerar um mundo virtual para ser otimizado posteriormente por um *designer*, que pode aumentar o mundo virtual com outros elementos virtuais (virtualidade). Esta combinação de mundo virtual e ambiente físico será denominada de "arena de simulação" ou "estágio de simulação" (ou até mesmo "arena de jogos – *game stage*" quando relacionados a jogos), estando relacionado ao requisito de **espacialidade**, que por sua vez, pode estar equipado com infraestrutura para suportar as atividades (por exemplo, redes sem fio, sensores, hardware de rastreamento e outros objetos físicos) e está relacionado aos requisitos de **virtualidade**, **comunicabilidade** e **ciência de contexto**.

No que diz respeito à fonte de informação dos objetos físicos que residem no ambiente (IS2), a simulação detecta objetos físicos (por exemplo, móveis, objetos portáteis e corpos de outros usuários) e os mapeia em representações virtuais, que são exibidas para o usuário (**virtualidade**). Os usuários tocam, carregam e movem esses objetos físicos, mas eles apenas veem sua representação virtual (**virtualidade e interação**). No que diz respeito à fonte de informação de contexto (IS3), a percepção de e os mapeia em representações virtuais, que são exibidas para o usuário (**context-awareness**). A simulação pode usar o contexto para gerar conteúdo virtual e alterar as regras ou o comportamento de simulação, ou seja, experiências de jogos imprevisíveis e jogabilidade emergente. Um aplicativo RVP pode responder de volta ao usuário através de vários canais (virtuais e não-virtuais) e vários tipos de mídia (**comunicabilidade**). Alguns desses canais podem ser usados ou transportados pelos usuários (**virtualidade**), e alguns deles correspondem a objetos físicos espalhados no espaço físico (por exemplo, objetos inteligentes e dispositivos de ambiente - **comunicabilidade e ciência de contexto**). Finalmente, os usuários podem interagir através de múltiplas modalidades (por exemplo, movimentos de voz, movimentos corporais e gestos), objetos físicos comuns e dispositivos sensíveis ao contexto, apoiando paradigmas de interação tangíveis e de contexto (**interação**). O próximo capítulo detalha os requisitos apresentados em um mapa conceitual.

CAPÍTULO 4 – REQUISITOS E CARACTERÍSTICAS DE REALIDADE VIRTUAL PERVASIVA

Neste trabalho, será proposto inicialmente um mapa com dois níveis conceituais. O primeiro nível está relacionado aos requisitos e o segundo nível às características para virtualidade pervasiva, conforme apresentado na Figura 5.

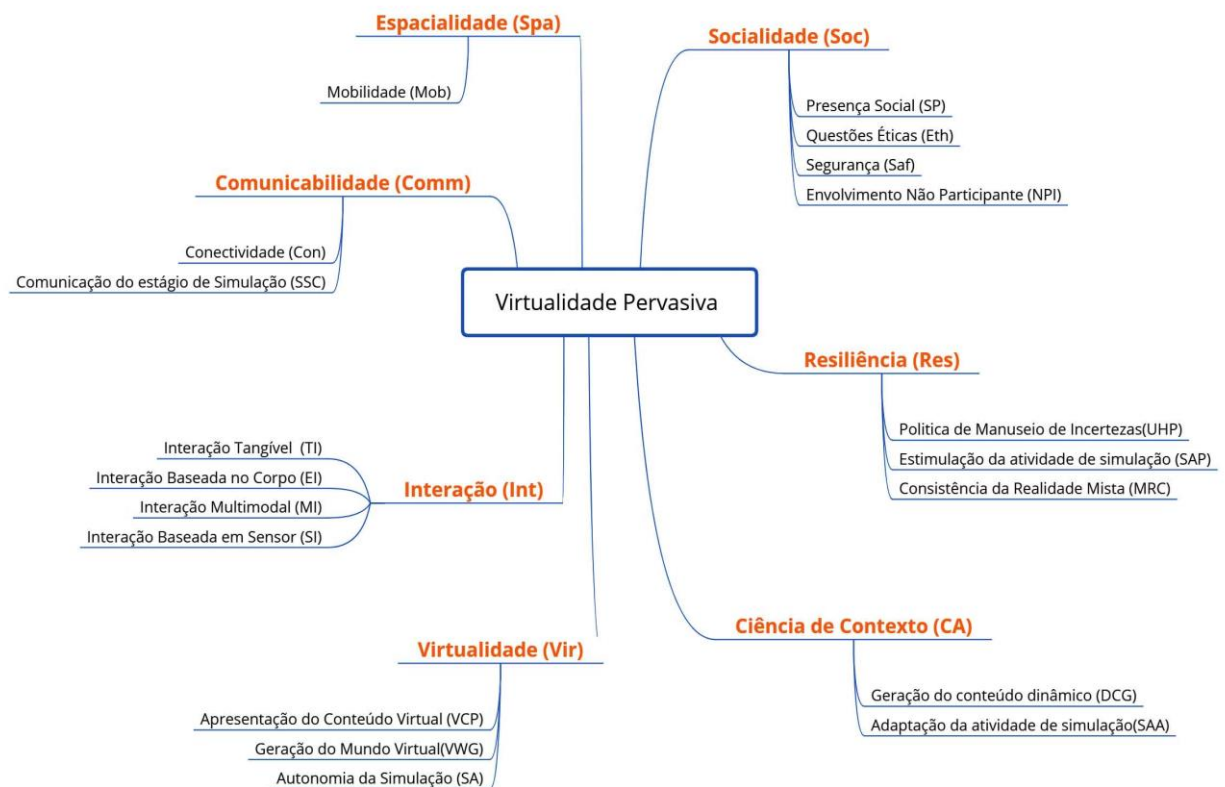


Figura 5 – Requisitos e características de Virtualidade Pervasiva

Cada um dos sete requisitos de primeiro nível é subdividido em sub-aspectos (características) adicionais, que representam questões mais específicas. Esses requisitos de qualidade estão intimamente relacionados com cada aspecto chave de uma aplicação PV, como detalhado a seguir.

4.1 VIRTUALIDADE (VIR)

A Virtualidade (VIR) considera os aspectos virtuais da virtualidade pervasiva que consistem em Geração de mundo virtual (VWG), apresentação de conteúdo virtual (VCP) e autonomia de simulação (SA).

4.1.1 GERAÇÃO DO MUNDO VIRTUAL (VWG)

A Geração do mundo virtual considera procedimentos para gerar o mundo virtual 3D baseado na estrutura física do mundo real. Identificamos três categorias de VWG: "baseado em ambiente", "baseado em dispositivo" e "abordagens híbridas".

No "VWG baseado em ambiente" (eVWG), o estágio de simulação é equipado com infraestrutura de rastreamento (por exemplo, câmeras de captura de movimento e servidores de processamento) que permite que o aplicativo RVP rastreie objetos físicos e a arquitetura de ambiente em um local centralizado, tal como um servidor. Nesta abordagem, todas as entidades físicas (incluindo os jogadores) que o aplicativo RVP precisa rastrear devem estar equipadas com dispositivos que possibilitem o processo de rastreamento. No eVWG, o ambiente físico é o "agente ativo" e a entidade responsável por realizar o processo de rastreamento para detectar objetos físicos e jogadores. Em "VWG baseado em dispositivo (dVWG), os dispositivos móveis que os usuários usam (por exemplo, câmeras, computadores móveis, smartphones) são responsáveis pelo rastreamento do ambiente e das entidades físicas (incluindo outros jogadores). Essa abordagem pode exigir a instalação de infraestrutura para auxiliar o dispositivo móvel no processo de rastreamento. No dVWG, os dispositivos móveis que o jogador carrega atuam como "agentes ativos" em relação ao processo de rastreamento.

A Tabela 1 resume os trabalhos atuais referentes às categorias VWG. Ambas as abordagens têm vantagens e desvantagens. Em um cenário ideal, a geração do mundo virtual seria um processo transparente (por exemplo, não exigindo que os usuários saibam como fazê-lo) que ocorre em tempo real ou com tempos de configuração mínimos. No entanto, esta questão é atualmente um desafio tecnológico.

Tabela 1: Categorias da geração do mundo virtual em virtualidade pervasiva

<i>Baseado em ambiente</i>	<i>Baseado em dispositivos</i>	<i>Abordagem híbrida</i>
<i>(Void, 2016b)</i>	<i>(Simeone et al., 2015b)</i>	<i>(Silva, Alexandre Ribeiro et al., 2015)</i>
<i>(Chagué e Charbonnier, 2016)</i>	<i>(Shapira e Freedman, 2016)</i>	
<i>(Simeone et al., 2015b)</i>	<i>(Sra et al., 2016)</i>	
<i>(Steinicke et al., 2008)</i>		
<i>(Cheng et al., 2015)</i>		

O VWG baseado no ambiente requer um ambiente dedicado equipado com infraestrutura adequada, tal como câmeras de captura de movimento (Steinicke *et al.*, 2008; Cheng *et al.*, 2015; Simeone *et al.*, 2015a; Void, 2015b; Chagué e Charbonnier, 2016). Tal abordagem pode ser dispendiosa em relação à tecnologia e à disponibilidade de um lugar físico adequado (possivelmente grande). A arquitetura física geralmente é fixa, o que restringe a criação de diferentes mundos virtuais com diferentes recursos físicos. No entanto, iniciativas como (Cheng *et al.*, 2015) tentam mitigar esse problema usando um grande espaço vazio organizando os elementos arquitetônicos em tempo real. Este procedimento exige que uma equipe de operadores mova placas especiais ao longo do caminho que o usuário caminha no mundo virtual. A infraestrutura instalada neste local rastreia as placas, os operadores e o usuário para construir o mundo virtual. Por outro lado, o eVWG permite que os desenvolvedores de aplicativos e designer de jogos ajustem a experiência do jogo removendo ou otimizando problemas de tecnologia em relação a sensores e conectividade (requisito de política de tratamento de incertezas). A abordagem eVWG permite que o aplicativo centralize tarefas de computação em uma entidade central (por exemplo, um servidor ou cluster de servidor), permitindo que os dispositivos que os jogadores usam atuem de forma "*thin client*".

Em contraste com as simulações de eVWG, em simulações de dVWG, os dispositivos de usuário atuam como "*thick clients*", sendo responsáveis pelo rastreamento do ambiente e das entidades físicas. Além disso, no caso de simulações multijogador, o aplicativo RVP torna-se muito mais complexo, devido à necessidade de sincronizar todos os dispositivos do usuário para manter a simulação consistente.

As abordagens híbridas (hVWG) combinam dVWG e eVWG, em que a simulação usa a infraestrutura instalada no meio ambiente para auxiliar os dispositivos do usuário no processo de rastreamento. As abordagens híbridas podem ser uma estratégia para a transição do eVWG para uma abordagem dVWG pura, devido a restrições tecnológicas atuais, como custo, disponibilidade e viabilidade.

4.1.2 APRESENTAÇÃO DO CONTEÚDO VIRTUAL (VCP)

A apresentação de conteúdo virtual aborda questões sobre como a simulação apresenta o mundo virtual e o conteúdo virtual aos usuários através de várias modalidades (por exemplo, imagens, áudio e sensações hápticas). No caso de HMDs, há problemas que a simulação deve abordar adequadamente, como efeitos adversos para usuários (por exemplo, náuseas, enjoo). A audição pode ser estimulada através de fones de ouvido isolados ou não isolantes e objetos inteligentes. Ao experimentar o mundo virtual, um usuário pode inconscientemente esperar que alguns recursos de simulação se comportem como seus homólogos no mundo virtual.

Não abordar este problema pode prejudicar a experiência de simulação. Por exemplo, Simeone (Simeone *et al.*, 2015b) exploraram experiências hápticas alterando propriedades físicas em objetos virtuais em comparação com seus proxies físicos, ou seja, o objeto real. Nesta exploração, Simeone et al. enumerou cinco "níveis de incompatibilidade" para representar as diferenças entre os objetos físicos e virtuais partindo de "sem incompatibilidade" com "incompatibilidade mais alta": a) réplica - sem diferença, b) estética (por exemplo, usar um material diferente, c) adição/ subtração - (por exemplo, adicionar ou remover uma característica física, d) função (por exemplo, alterar as condições de reconhecimento *Affordance*), e) categoria - (por exemplo, usar papelão para representar uma garrafa). Através de dois estudos de usuários. (Simeone *et al.*, 2015b) concluíram que esta incompatibilidade pode afetar negativamente a experiência do usuário. No entanto, essa incompatibilidade pode permitir que o aplicativo seja executado em diferentes lugares. Neste caso, cabe aos *designers*/desenvolvedores de jogos pesar os prós e os contras de acordo com os objetivos da aplicação.

4.1.3 AUTONOMIA DE SIMULAÇÃO (SA)

A autonomia de simulação refere-se ao grau que uma simulação RVP pode funcionar como um sistema independente. Em outras palavras, em uma simulação RVP com maior autonomia, um usuário pode criar e se juntar a simulação de forma transparente por ele próprio, com infraestrutura extra, mínima implantada em um lugar físico e não requer nenhuma equipe de orquestração. Orquestração é um procedimento em que uma equipe de suporte técnico monitora a simulação (ou jogo) dos bastidores enquanto está acontecendo. Os principais objetivos são prevenir e consertar problemas técnicos que podem dificultar a experiência do

usuário e ajudar os usuários/jogadores em dificuldades. A equipe de orquestração também pode influenciar, alterar ou ajustar o curso da experiência de simulação, se necessário ou desejado. Esta situação utópica de alta autonomia pode ser o caso de uma simulação de dVWG, em que o dispositivo de usuário é capaz de criar e gerenciar o mundo virtual inteiramente por ele próprio. Na prática, esse cenário ainda está longe da realidade. Em simulações com *designers* e desenvolvedores menos autônomos, pode ajustar a experiência do usuário como desejar, o que pode criar o maior impacto positivo nos usuários.

4.2 SOCIALIDADE (SOC)

A socialidade (Soc) refere-se a aspectos sociais e implicações sociais da simulação, compreendendo presença social (SP), preocupações éticas (Eth), segurança (Saf) e envolvimento não participante (NPI).

4.2.1 PRESENÇA SOCIAL (SP)

A presença social (SP) diz respeito à "como as pessoas experimentam suas interações com os outros e se referem a condições que devem ser atendidas para experimentar um senso de copresença (ou seja, consciência mútua)"(Wolbert et al., 2014). A presença social pode ocorrer entre pessoas reais e/ou entre usuários e personagens virtuais. Por exemplo, uma simulação pode promover relações sociais, fornecendo atividades de jogo em equipe que requerem colaboração. Uma possibilidade mais forte neste exemplo pode ser atividades que requerem colaboração devido a funções de usuários complementares. (Madary e Metzinger, 2016) investigaram que a interatividade social ajuda a criar a sensação subjetiva de presença em ambientes virtuais. Um fator importante na interatividade é presença social reconhecido como uma pessoa existente por outras entidades (incluindo outras pessoas e agentes virtuais). conforme os autores afirmam: “À medida que as investigações sobre VR mostraram curiosamente, uma realidade fenomenal como tal se torna mais real - em termos de subjetiva experiência de presença - como mais agentes reconhecendo um e interagindo com um estão contidos nesta realidade”. Fenomenologicamente, a cognição social contínua aumenta tanto a realidade quanto o eu em seu grau de "realidade" (Madary e Metzinger, 2016). Esse princípio

também se manterá, se a experiência subjetiva de cognição social contínua for de natureza alucinante.

4.2.2 QUESTÕES ÉTICAS (Eth)

As preocupações éticas (Eth) referem-se a tópicos relacionados ao bem-estar dos usuários e questões éticas. Por exemplo, (Madary e Metzinger, 2016) previram e discutiram em detalhes quatro fontes de riscos para usuários e não usuários em ambientes VR: "efeitos de imersão a longo prazo", "negligência de outros e do meio ambiente", "conteúdo arriscado" e "privacidade". Os efeitos da imersão a longo prazo são desconhecidos na medida em que a VR foi confinada nos últimos anos a laboratórios em condições controladas por algum tempo (por exemplo, minutos). O uso generalizado de VR (e virtualidade pervasiva) como simulações altamente autônomas que o usuário pode usar por horas, pode apresentar consequências não intencionais que não podemos saber no momento (por exemplo, vícios, doenças mentais, transtornos psicológicos, mudanças indesejáveis de comportamento). Os usuários imersos em sistemas VR podem se negligenciar (por exemplo, segurança física) à medida que se tornam distraídos na simulação. Sob este contexto, o uso de simulações VR em locais públicos pode dar origem a "zumbis VR", que seria o VR equivalente ao recente fenômeno do "zumbi de smartphone". Os "zumbis de smartphones" são usuários de telefones celulares que caminham pelas ruas imersos no dispositivo móvel, distraídos e inconscientes de outras pessoas a seus arredores. Embora essa ideia possa parecer ridícula, é uma questão real e já chamou a atenção dos setores do governo (Bbc, 2016; 2017). O conteúdo arriscado significa conteúdo virtual que pode encorajar ou reforçar comportamentos indesejáveis, estranhos ou sociais e traços de personalidade indesejáveis (por exemplo, psicopatia, narcisismo e maquiavelismo)(Madary e Metzinger, 2016). Finalmente, no que diz respeito à privacidade (Madary e Metzinger, 2016) corroboram que o atual problema de privacidade na internet (por exemplo, redes sociais) pode aumentar devido às novas possibilidades de aplicações possibilitadas pelas tecnologias VR.

4.2.3 SEGURANÇA (Saf)

Segurança (Saf) diz respeito a medidas para garantir a segurança física e psicológica dos usuários de PV. Os usuários imersos em PV podem estar em vulnerabilidade física e psicológica.

Quanto à saúde e à segurança psicológica (Madary e Metzinger, 2016) fornecem medidas detalhadas sobre questões que podem prejudicar a saúde psicológica de um usuário (por exemplo, manipulação do senso e problemas de saúde mental do usuário). Além disso, questões gerais de saúde dizem respeito à doença e desconforto ao usar sistemas VR, como náuseas, fadiga ocular, dor de cabeça e vertigem (Carnegie e Rhee, 2015). No que diz respeito à segurança física, os usuários em RVP não têm conhecimento dos obstáculos físicos que podem existir (por exemplo, objetos estáticos ou móveis, bem como o próprio ambiente físico). Além disso, se houver desajustes entre os mapeamentos físicos e virtuais, os usuários podem colidir com paredes físicas.

Em RVP com base no eVWG, os *designers*/desenvolvedores podem organizar e afinar o ambiente para evitar perigos físicos e usar equipes para evitar que os usuários se machuquem. Esse problema é mais relevante em RVP que usam dVWG, pois o ambiente físico pode ser desconhecido para o desenvolvedor de aplicativos. Por exemplo, (Sra, 2016; Sra *et al.*, 2016) concebeu "elementos de fronteira" como parte de seu dVWG para destacar áreas que um usuário não deveria acessar no mundo virtual. Este projeto explora o conhecimento do mundo real do usuário sobre como os objetos funcionam e se olham no mundo real. Por exemplo, uma simulação pode representar uma vedação no mundo virtual para comunicar ao usuário que ele/ela não deve ir mais longe na área delimitada por essa vedação.

4.2.4 ENVOLVIMENTO DE NÃO PARTICIPANTE (NPI)

O envolvimento não participante (NPI) refere-se a como uma simulação PV pode afetar indivíduos que não são usuários do sistema, mas que possam estar presentes no ambiente físico da simulação por algum motivo. O NPI diz respeito principalmente à segurança física de usuários e não usuários. (Simeone *et al.*, 2015b) apontam que essas simulações podem ocorrer em casas comuns onde outras pessoas e animais (por exemplo, animais de estimação) podem viver. Nesse caso, a simulação RVP (ou seja, baseada em dVWG) deve ser capaz de detectar os não usuários e alertar os usuários sobre eles. No caso de simulações do eVWG, isso pode

não ser um problema, pois o lugar físico existe exclusivamente como a área de simulação (ou jogo), sendo gerenciado pelos desenvolvedores de simulação.

4.3 ESPACIALIDADE (Spa)

Espacialidade (Spa) considera os aspectos relacionados ao uso do espaço físico pelos usuários, que consiste em mobilidade (Mob).

4.3.1 MOBILIDADE (Mob)

A Mobilidade (Mob) é relacionada a questões relacionadas à livre circulação de jogadores no ambiente físico. Habilitar um usuário para caminhar e experimentar o mundo virtual é uma característica chave do RVP quando comparado ao VR tradicional. O tamanho desejado do mundo virtual pode exigir um grande espaço físico para se implementar a aplicação RVP. A este respeito, existem vários trabalhos que exploram a simulação de grandes mundos virtuais em pequenos locais físicos (Steinicke *et al.*, 2010; Sun *et al.*, 2016).

Em particular, (Steinicke *et al.*, 2010) apresentou uma taxonomia das técnicas de "redirecionamento de caminhada", que são métodos para implementar essa abordagem. Técnicas como redirecionamento de caminhada funcionam, uma vez que, pequenas quantidades de distorção do espaço podem ser aceitáveis para os usuários (Sun *et al.*, 2016). (Simeone *et al.*, 2017) explorou outros métodos para influenciar e mudar o movimento do usuário em simulações de tipo PV. Em sua experiência, (Simeone *et al.*, 2017) organizaram alguns aspectos (por exemplo, barreiras, paredes) e objetos físicos no ambiente, e mudou a aparência estética de certas áreas no mundo virtual. A partir dessas experiências, Simeone elaborou diretrizes para os designers sobre esta questão.

4.4 COMUNICABILIDADE (Comm)

Comunicabilidade (Comm) diz respeito a aspectos relacionados à infraestrutura que a simulação usa para se comunicar com usuários e outros componentes de simulação, incluindo Conectividade (Con) e Comunicação de estágio de simulação (SSC).

4.4.1 CONECTIVIDADE (Con)

Conectividade (Con) refere-se à infraestrutura de rede necessária para suportar atividades na simulação problemas associados. Por exemplo, as simulações RVP podem exigir redes locais sem fio com requisitos específicos (por exemplo, baixa latência). A conectividade também se refere aos requisitos dos vários dispositivos que um jogador pode usar para se comunicar entre si (por exemplo, HMD e outros dispositivos portáteis). A abordagem de geração do mundo virtual pode influenciar muito os requisitos de conectividade. Nas simulações eVWG, pode haver uma entidade central (por exemplo, servidor ou cluster de servidor) que rastreie objetos físicos e execute a simulação, com dispositivos móveis de usuários que executam o processamento local (por exemplo, detectar informações de contexto, renderização do mundo virtual). Por outro lado, em simulações de dVWG, o aplicativo pode aplicar um modelo de processamento distribuído que requer sincronização entre todos os dispositivos do usuário para obter ciência de contexto.

4.4.2 COMUNICAÇÃO DE ESTÁGIO DE SIMULAÇÃO (SSC)

A comunicação de fase de simulação (SSC) refere-se aos canais de comunicação que o jogo usa para trocar informações com os jogadores no estágio do jogo. Por exemplo, "dispositivos de ambiente" (Valente, Feijó, *et al.*, 2015) são objetos colocados no ambiente físico que podem emitir informações (por exemplo, áudio) e gerar efeitos físicos no ambiente (cheiros, vento, calor, frio, pulverização de água, portas abertas, elevadores de movimento). No último caso, uma aplicação PV usa esses efeitos para misturar conteúdo real e virtual.

4.5 CIÊNCIA DE CONTEXTO (SSC)

A Ciência de contexto (*Context-Awareness* - CA) refere-se a adquirir e usar informações de contexto em atividades de simulação, incluindo a Geração de Conteúdo Dinâmico (DCG) e a Adaptação da Atividade de Simulação (SAA). Uma simulação RVP é capaz de adquirir informações de contexto através de vários meios, tais como: dispositivos portáteis dos jogadores (por exemplo, estado fisiológico), infraestrutura dedicada na fase de simulação (por exemplo, temperatura, umidade, condições de iluminação, clima), dados da rede social (por

exemplo, pessoal preferências, traços de personalidade) e "objetos inteligentes – *smart objects*" (Valente, Feijó, *et al.*, 2015). Objetos inteligentes são dispositivos de computação equipados com sensores. Esses dispositivos podem fornecer interfaces de interação para os jogadores e poderão gerar informações (como áudio e imagens) e criar efeitos do mundo real.

4.5.1 GERAÇÃO DE CONTEÚDO DINÂMICO (SSC)

A geração de conteúdo dinâmico (DCG) refere-se a criar conteúdo do jogo de forma dinâmica através do contexto. É provável que geração de conteúdo dinâmico seja importante em simulações PV baseadas em dVWG, pois o mundo físico que a aplicação usa pode ser desconhecido em tempo de design. Nessas situações, um grande desafio é manter a funcionalidade de simulação desejada igual em diferentes ambientes físicos.

4.5.2 ADAPTABILIDADE DA ATIVIDADE DE SIMULAÇÃO (SAA)

A adaptabilidade da atividade de simulação (SAA) diz respeito ao uso de informações de contexto para alterar as regras de simulação (por exemplo, regras de um jogo, mecânica de jogos) e conteúdo do mundo virtual, alterando dinamicamente o comportamento da simulação. Por exemplo, uma simulação pode alterar o comportamento da simulação de acordo com a idade do usuário, sua velocidade de movimento, a hora do dia, o número de usuários na fase de simulação e a temperatura do ambiente - informações que estão disponíveis somente quando a simulação está acontecendo.

4.6 INTERAÇÃO (Int)

A interação (Int) refere-se à paradigmas de interação que contribuem para criar o aspecto de "ação ao vivo" do RVP, como interação tangível (TI), interação baseada no usuário (*body-based interaction* - BI), interação multimodal (MI) e interação com sensor (SI). Esses paradigmas de interação podem ser facilitados através de dispositivos vestíveis (por exemplo, *smart bands*, sensores de movimento) e infraestrutura dedicada (por exemplo, câmeras de captura de movimento). Embora identificados esses paradigmas para aplicações RVP, a

pesquisa sobre como projetar esquemas de controle adequados para aplicações baseadas em HMD ainda está em estágios iniciais (Martel e Muldner, 2017).

4.6.1 INTERAÇÃO TANGÍVEL (TI)

A interação tangível (TI) representa a "metáfora do objeto tangível" como primeiro definido por Ishii e Ullmer (Ishii e Ullmer, 1997). No entanto, usuários de RVP tocam, seguram, entendem e manipulam objetos de *proxy* - objetos físicos que servem para fins hápticos, mas o usuário não os vê, ou seja, o usuário vê uma representação virtual. Os objetos tangíveis podem ser implementados através de tecnologias de rastreamento ou sensores. Exemplos de sensores adequados para esse fim são RFIDs, sensores magnéticos, sensores de proximidade e sensores de luz. Esses objetos podem ser cientes do contexto ou mesmo objetos comuns (por exemplo, bastões de madeira equipados com hardware de rastreamento). Os objetos tangíveis podem ser transportados pelo usuário ou podem ser espalhados na fase de simulação. Por exemplo, uma simulação pode apresentar um quebra-cabeça que requer a busca de um objeto no ambiente e colocá-lo em cima de outro objeto ou dispositivo que reside no ambiente.

4.6.2 INTERAÇÃO MULTIMODAL (MI)

A interação multimodal (MI) corresponde ao fornecimento de oportunidades de interação através de múltiplas modalidades, como entrada de voz, áudio e gestos.

4.6.3 INTERAÇÃO BODY-BASEED (BI)

As interações baseadas no corpo (BI) representam interações através dos movimentos do corpo, como saltar, girar, andar, correr e gestos.

4.6.4 INTERAÇÃO BASEADA EM SENSOR (SI)

A interação baseada em sensores (SI) representa interações de natureza implícita [63] com base em dispositivos sensores. Em interações implícitas, o usuário não emite comandos

diretos para o aplicativo. Em vez disso, o aplicativo usa sensores para detectar um recurso específico e, em seguida, ele emite um comando em nome do usuário. Do ponto de vista do usuário, essas interações acontecem inadvertidamente. Um exemplo é "interação de proximidade", em que a simulação desencadeia eventos quando um sensor detecta a presença de um usuário. Uma simulação RVP pode usar "objetos inteligentes – *smart objects*" para criar esse tipo de interação. Em contraste, existem "interações explícitas" em que um usuário emite comandos na vontade dele. Um exemplo é empurrar um botão em um painel para abrir uma porta.

4.7 RESILIÊNCIA (Res)

Resiliência (Res) refere-se a como um jogo é capaz de lidar com incertezas tecnológicas (por exemplo, em sensores e redes) para evitar que eles rompam a imersão e a experiência de simulação. Essas incertezas são decorrentes de limitações de componentes de tecnologia inerentes, como precisão, tempo de resposta e confiabilidade. Por exemplo, no RVP, o problema de rastreamento é uma questão chave como: 1) tecnologias de sensores ignoram fronteiras físicas do mundo; 2) as tecnologias de sensores podem não ser capazes de rastrear objetos que se movem acima de um determinado limite de velocidade. Foram identificados três aspectos importantes para a resiliência: política de manuseio de incerteza (UHP), estimulação de atividade de simulação (SAP) e consistência de realidade mista (MRC).

4.7.1 POLITICA DE TRATAMENTO DE INCERTEZA (UHP)

A política de manuseio de incerteza (UHP) refere-se a estratégias específicas que uma simulação pode usar para lidar com incertezas. No contexto de jogos pervasivos, (Valente, Feijó, *et al.*, 2015) descreve cinco estratégias gerais para abordar essas questões (ocultar, remover, gerenciar, revelar e explorar), que também são discutidas em outros trabalhos sobre jogos pervasivos (Broll e Benford, 2005; Bell *et al.*, 2006; Benford *et al.*, 2006). No contexto da RVP, e quatro delas se aplicam: ocultar, remover, gerenciar e explorar. A estratégia de "ocultar" correspondente à simulação detectando e corrigindo problemas automaticamente à medida que ocorrem antes do usuário avisá-los (sem intervenção humana). A estratégia "remover" corresponde a projetar atividades de forma que as incertezas não ocorram. As

simulações do eVWG oferecem a maior oportunidade para aplicar esta política. A estratégia "gerenciar" corresponde ao fornecimento de vários modos de operação que o aplicativo pode ativar em face de uma incerteza específica. Um exemplo é criar modos *off-line* para usar quando a rede não está disponível. Usar equipes de orquestração também é um exemplo dessa política. A estratégia de "exploração" significa integrar incertezas na aplicação como parte das atividades. Por exemplo, no contexto de RVP Simeone (Simeone *et al.*, 2015b) argumentou que as desigualdades entre os mundos físico e virtual (ou seja, incertezas) ocorrerão de qualquer maneira. Com base nesse pressuposto, eles propuseram diretrizes para explorar essas incertezas em simulações, em relação às experiências hápticas.

4.7.2 ESTIMULAÇÃO DA ATIVIDADE DE SIMULAÇÃO (SAP)

Estimulação da atividade de simulação (SAP) diz respeito à compatibilidade do andamento (ritmo) das atividades com as tecnologias que a simulação usa em sua implementação. Por exemplo, alguns componentes de tecnologia (hardware e sensores de rastreamento) podem ter tempos de resposta relativamente altos, o que pode tornar essas tecnologias incompatíveis com atividades com andamento (ou ritmo) elevado. Neste exemplo, se os jogadores se movessem muito rápido (para que o hardware de rastreamento continuasse), o processo de rastreamento poderia fornecer resultados inconsistentes ou incorretos por não ter sido capaz de capturar os movimentos a tempo, devido às suas limitações tecnológicas.

4.7.3 CONSISTÊNCIA DA REALIDADE MISTA (MRC)

A consistência da realidade mista (MRC) refere-se a como manter a consistência entre os mundos físico e virtual. Um aspecto do MRC é manter os mundos físicos e virtuais sobrepostos e sincronizados (em tempo real) sem efeitos colaterais negativos que um jogador possa perceber. Um aplicativo RVP pode aplicar políticas de tratamento de incerteza para garantir essa consistência. Outro aspecto do MRC refere-se a elementos virtuais e seus objetos *proxy*. As inconsistências entre esses emparelhamentos podem afetar negativamente a experiência de simulação.

CAPÍTULO 5 – ARQUITETURA PROPOSTA PARA SISTEMAS DE RVP

A criação de aplicativos e sistemas de RV pervasiva pode se mostrar como uma tarefa desafiadora, pois o desenvolvedor tem que lidar com diversos dispositivos de *hardwares* heterogêneos, tais como: HMDs, sensores diversos (Receptores GPS, bússolas eletrônicas) e equipamentos de rede. Não existem padrões definidos nessa área. A arquitetura proposta neste trabalho foi desenvolvida para oferecer subsídios para a criação de ambientes de RV pervasiva, reunindo componentes necessários para esse tipo de aplicação. Os principais elementos da arquitetura proposto podem ser vistos na Figura 6.

O sistema é responsável pelo processamento gráfico dinâmico e a interação dos objetos dispostos no mundo real com o mundo virtual. A rede é responsável por sustentar as conexões hápticas e de sensores entre o sistema e o motor de jogos. O motor de jogos é responsável pelo desenvolvimento do jogo (física, áudio, importação de personagens, iluminação, render).

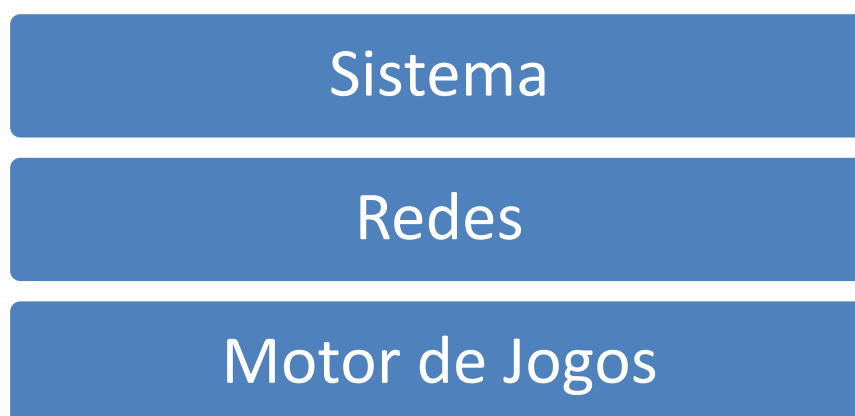


Figura 6 – Componentes da arquitetura de realidade virtual pervasiva

5.1 SISTEMA RV PERVASIVA

O sistema de realidade virtual pervasiva foi desenvolvido contemplando os módulos *processamento gráfico* e *interação*, responsáveis pela união dos objetos do mundo real com os objetos no mundo virtual. A estrutura do sistema RVP foi escolhida para este trabalho, por ser um conjunto de conceitos usado para resolver um problema de um domínio específico. Esta estrutura pode incluir programas de suporte, compiladores, bibliotecas de códigos, conjuntos

de ferramentas e interfaces de aplicações que reúnem componentes diferentes para permitir o desenvolvimento de um sistema. A Figura 7 representa a arquitetura central do sistema PV, composta por uma série de módulos, que serão detalhadas a seguir. As bibliotecas e classes integrantes do sistema foram desenvolvidas utilizando a linguagem de programação C#, devido à sua ligação nativa com o motor de jogos *Unity*, e C++ devido à sua eficiência, robustez e ligação com os componentes físicos e hápticos existentes em ambiente real de virtualidade pervasiva.

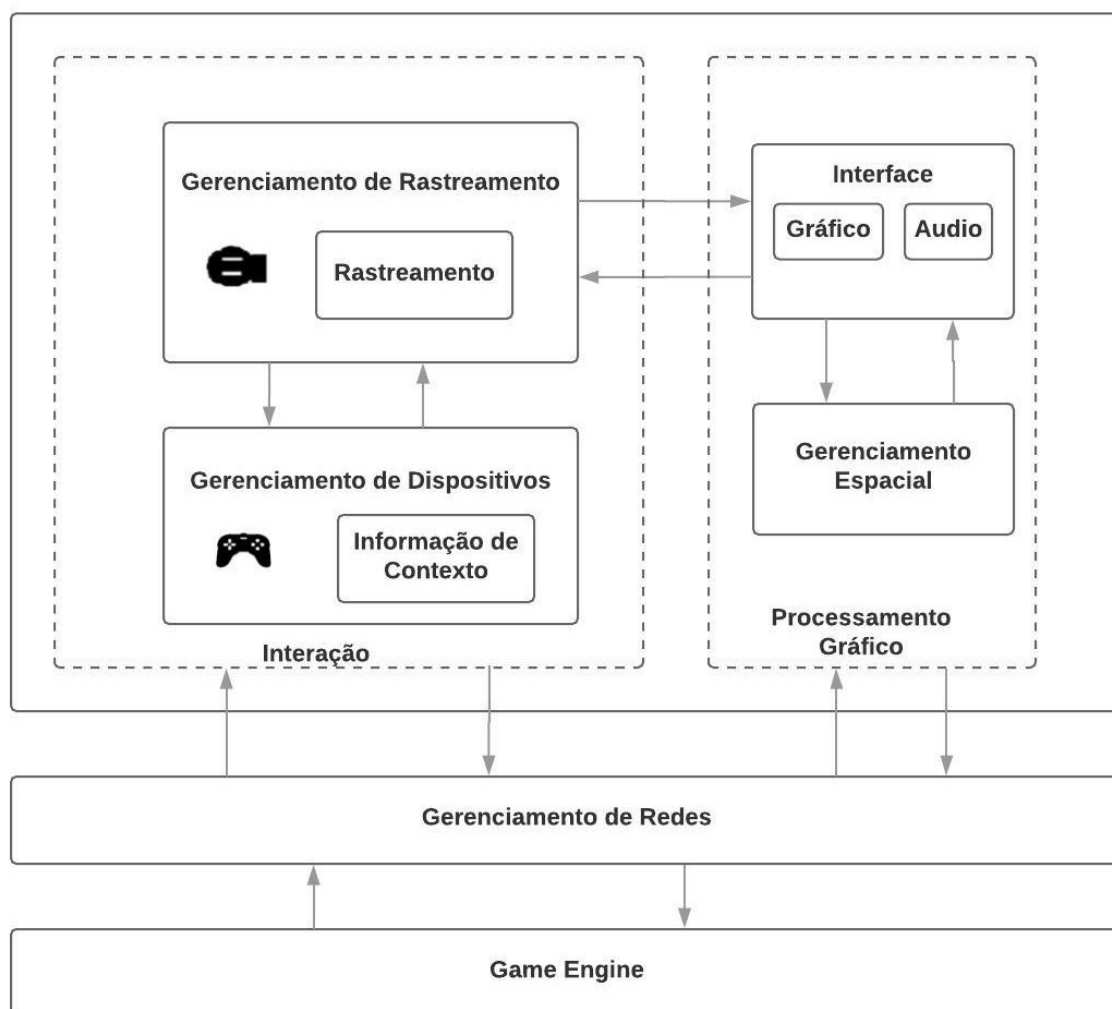


Figura 7 – Arquitetura central do sistema RVP proposto

O módulo *processamento gráfico* é responsável pela criação dos elementos gráficos utilizados para a construção do ambiente virtual. Possui os módulos (*gerenciamento espacial e interface*) responsáveis pela composição da cena. Cada biblioteca do módulo possui um conjunto de classes exclusivos para sua funcionalidade específica. O módulo *interação* é

responsável pela criação e gestão dos elementos físicos, hápticos e de contexto utilizados no ambiente real. Possui os módulos (gerenciamento de rastreamento e gerenciamento de dispositivos).

5.1.1 MÓDULO DE GERENCIAMENTO ESPACIAL

O módulo de *gerenciamento espacial* é responsável juntamente com o módulo de *rastreamento* pelo controle do espaço físico e virtual dentro do ambiente de RV pervasiva. Uma vez que o usuário utiliza um dispositivo *Head Mounted Display* e não consegue visualizar o ambiente real, duas premissas básicas são de suma importância em virtualidade pervasiva: segurança física do usuário e gestão do ambiente real. Essas premissas estão diretamente relacionadas ao requisito de espacialidade.

O tamanho do mundo virtual muitas vezes difere do tamanho do espaço real rastreado, de modo que uma implementação direta de caminhadas omnidirecionais e ilimitadas é restrita ou impossível. Assim, são necessários conceitos para métodos de locomoção virtual (técnicas de redirecionamento) que permitam percorrer grandes distâncias no mundo virtual, permanecendo em um espaço relativamente pequeno no mundo real. A técnica de redirecionamento *Redirected Walking Techniques* (Steinicke *et al.*, 2010) é baseada em imperfeições na percepção do trajeto visual humano quanto ao desvio tolerável entre movimento virtual e real. Uma das possibilidades aplicadas nesta técnica são imperceptíveis rotações da câmera ou do cenário redirecionando de forma inconsciente o usuário, fazendo com que o mesmo tenha a sensação do movimento de caminhar por longas distâncias no mundo virtual/físico, mas na verdade está caminhando em pequenos círculos.

(Souman *et al.*, 2009) apresenta evidências empíricas de que as pessoas realmente andam em círculos quando não têm pistas confiáveis para sua caminhada/direção. Nesse contexto a técnica de redirecionamento fornece uma solução promissora para o problema do espaço de rastreamento limitado e o desafio de fornecer aos usuários a capacidade de explorar um mundo virtual caminhando. Com essa abordagem, o usuário é redirecionado por meio de manipulações aplicadas à cena exibida, fazendo com que os usuários compensem inconscientemente o movimento da cena reposicionando-a ou reorientando-se.

O algoritmo de redirecionamento da ferramenta *Redirected walking toolkit* (Uscuniversity, 2018) implementado no módulo de gerenciamento espacial é o responsável pelo controle espacial do ambiente. A ferramenta permite a exploração de grandes ambientes virtuais

e é apresentado como um pacote Unity3D que pode integrar perfeitamente às configurações padrão de realidade virtual para habilitar algoritmos de caminhada redirecionada com o mínimo de esforço de configuração para os desenvolvedores. A arquitetura flexível do *kit* de ferramentas oferece uma interface simples e pode ser complementada por um conjunto de ferramentas de simulação para testes e análises. A técnica se mostrou mais promissora nos testes de pós-processamentos utilizados pela biblioteca de *interface* por possuírem um cenário predefinido e consequentemente os obstáculos e dispositivos do cenário de virtualidade pervasiva.

5.1.2 MÓDULO DE INTERFACE

O módulo de *interface* é responsável pela representação visual dos objetos presentes no ambiente virtual. É responsável também juntamente com o motor de jogos (*game engine*) pela interação do usuário com o ambiente virtual, tanto na apresentação dos elementos virtuais quanto na aquisição de informações a respeito do ambiente real através do módulo de interação, conforme ilustrado na Figura 7. Esse módulo é dividido ainda em dois outros módulos:

- a) **Gráfico:** responsável tanto pela exibição do ambiente virtual quanto pela captura e reconhecimento do ambiente real a partir de vídeo e imagens (marcadores);
- b) **audio:** responsável pela apresentação sonora do ambiente virtual e pela captura e reconhecimento dos sons no ambiente real juntamente com o módulo de gerenciamento de dispositivos.

O módulo de *Interface* considera procedimentos para gerar o mundo virtual 3D baseado na estrutura física do mundo real (conforme apresentado em 4.1), bem como também é responsável pela apresentação do conteúdo virtual visto pelo jogador (módulo gráfico). Isto significa que o *designer* de jogo deve conhecer toda a sistemática do jogo e os requisitos de interação necessários para a locomoção do jogador, dos objetos *proxy*, bem como a tecnologia de rede adotada para a criação do ambiente de virtualidade pervasiva proposto.

Foram identificadas duas etapas na criação de cenários em realidade virtual pervasiva: pré-processamento e pós-processamento. No pós-processamento, contemplando o requisito de Geração do mundo virtual (VWG), o ambiente real é criado a partir do ambiente virtual (eVWG baseado em ambiente), ou seja, cria-se primeiro o ambiente virtual (modelagem 3D do

ambiente, modelagem 3D dos personagens, iluminação, objetos, animação) e posteriormente cria-se o ambiente real (paredes de drywall, colunas, portas, janelas, etc).

No sistema de criação pós-processados as medidas do ambiente real são plotadas no sistema cartesiano 3D do ambiente virtual no motor de jogos para a sobreposição do real com virtual. O sistema precisa rastrear todos os elementos arquitetônicos (como paredes) para usá-los como geometria básica ao criar um ambiente 3D virtual. Normalmente são utilizados sistemas de rastreamento como *motion capture*. Depois de criar a estrutura do mundo virtual (pós-processados), o sistema pode sobrepor esta estrutura bruta com um conteúdo virtual, mantendo os mundos virtual e real superpostos, criando o *game stage*. Nesta etapa de preparação, o sistema pode rastrear todas as características físicas relevantes para gerar um mundo virtual para ser otimizado posteriormente por um artista ou *game design*, por isso o nome pós-processado. Artanin (Artanim, 2015) e The Void (Void, 2016c) são dois exemplos de arquitetura que utilizam o sistema de criação de ambientes virtuais pós-processados. Possuem uma arquitetura dedicada de ambiente físico no qual a instalação inclui um espaço real exatamente correspondente ao ambiente virtual, bem como câmeras de captura de movimento cobrindo todos os ângulos possíveis (Metz, 2015). O *game stage* foi construído com um salão curvo ao redor da borda, que pode ser usado para uma técnica de redirecionamento, essencialmente fazendo com que o jogador possa se sentir caminhando como se estivesse andando em linha reta, mesmo que na verdade esteja fazendo um *loop* em torno de um determinado espaço. Para a construção do *game stage* The Void usou uma combinação de *Motion Capture* e paredes móveis (Figura 8) para criar ambientes e objetos físicos que são mapeados de forma idêntica no mundo virtual e real.



Figura 8 - (a) The Void Game Stage (Robertson e Popper, 2017), - (b)- (Martindale, 2015)

No sistema de criação pré-processado, contemplando o requisito de **Geração do mundo virtual (VWG)**, as características espaciais do ambiente são rastreadas (módulo de rastreamento) em tempo de execução para criar a representação virtual do ambiente físico (dVWG – baseado em dispositivo). Quando um usuário entra no ambiente físico, o mesmo utiliza um sistema de rastreamento para capturar elementos e marcadores para a Geração do mundo virtual (VWG) – sessão 4.1.1). Para este tipo de criação pré-processada sistema utiliza um dispositivo (*hardware*) utilizado pelo jogador que é responsável por rastrear os elementos do cenário em tempo de execução. O *designer* do jogo coloca marcadores no ambiente como um passo de pré-processamento. O sistema registra as informações do marcador armazenado para gerar o conteúdo virtual, que inclui a geometria do mundo virtual e outros elementos que o *designer* deseja adicionar ao jogo. O jogo rastreia os elementos arquitetônicos (como paredes) usando-os como geometria básica para criar um ambiente 3D virtual. Depois de criar a estrutura inicial do mundo virtual, a aplicação pode introduzir outros elementos virtuais nessa estrutura. Um exemplo deste tipo de estrutura foi desenvolvido por nós em um sistema de navegação *indoor* (Silva, Alexandre Ribeiro *et al.*, 2015) apresentado como estudo de caso para o requisito de espacialidade (Seção 4.3)

5.1.2.1 MÓDULO GRÁFICO

Cada classe do módulo **gráfico**, juntamente com o motor de jogos, possui representações, configurações e informações estruturais (cor, animação, física, material, *shader*, iluminação, objetos 3D, personagens, dentre outros) que podem assumir diversas configurações e comportamentos (animação, física, locomoção). A comunicação entre o sistema e o motor de jogos (*game engine*) é feita através de disparos de eventos (Figura 9). Cada vez que o sistema requisita uma ação, este por sua vez, dispara um evento ao *plugin*, que processa e atualiza o estado do sistema e do motor de jogo. A instanciação, importação de personagens, iluminação estática, bem como os cenários estáticos e física ficam a cargo do motor de jogos (*game engine*).



Figura 9 – Processamento de eventos do sistema RV pervasiva

A captura e o reconhecimento de imagens são essenciais para aplicações de realidade virtual pervasiva pois oferecem meios alternativos de interação do usuário com o sistema, tanto para processo de reconhecimento espacial e localização (Geração Mundo Virtual – pré-processamento) quanto para elementos adicionais incorporados ao ambiente virtual (Ciência de Contexto – Geração Conteúdo Dinâmico). As características relacionadas com o processamento de imagens e visão computacional são definidas a partir das funções presentes na biblioteca OpenCVsharp implementadas juntamente com o módulo gráfico.

Quando o sistema faz alguma requisição de funcionalidade, esta é passada para a biblioteca que faz os processamentos necessários e retorna o resultado. A biblioteca OpenCVsharp de visão computacional ofereceu acesso a um vasto ferramental para tratamento de imagens, visão computacional e reconhecimento de padrões em virtualidade pervasiva. Estes recursos foram implementados no sistema especialmente para permitir a construção de aplicações utilizando como base o reconhecimento de marcadores fiduciais presentes no ambiente real e capturados a partir de câmeras reais. Este componente possui três módulos: captura, reconhecimento e exibição. O módulo de captura foi construído juntamente com a biblioteca de gerenciamento de dispositivos de forma a oferecer suporte à captura por múltiplos dispositivos de diversos tipos. O módulo de reconhecimento é responsável pelo *tracking* dos marcadores presentes no ambiente real, informando suas posições e orientações em relação aos dispositivos de captura utilizados. Por fim, o módulo de exibição é responsável pela instanciação dos objetos virtuais através da biblioteca gráfica. Um exemplo da utilização desta biblioteca em virtualidade pervasiva foi utilizado na captura, extração e reconhecimento de marcadores estáticos e dinâmicos em um *sistema de navegação indoor* (Silva, A. R. *et al.*, 2015) para testar a arquitetura proposta em jogos de virtualidade pervasiva, em especial o sistema de locomoção. O sistema utiliza os marcadores para localização e posição dos jogadores no *game stage*, conforme apresentado no *pipeline* de processamento do sistema, ilustrado na Figura 24.

5.1.2.2 MÓDULO DE AUDIO

Os mecanismos gráficos e de áudio possuem os mesmos conjuntos básicos de comandos. Isso permite que o *designer* de jogos possa gerar mundos que ofereçam estímulo visual e sonoro.

O módulo de áudio é responsável pela apresentação do ambiente virtual ao usuário por meio de estímulos sonoros e pela captura e reconhecimento de sons ocorridos no ambiente real (informação de contexto). Essas ferramentas possuem entidades responsáveis tanto pela reprodução de som, quanto em relação à captura e reconhecimento de informações sonoras fornecidas pelo usuário e objetos de realidade virtual *pervasiva* (*proxy objects*), além de gerenciar entidades virtuais capazes de interferir na reprodução do som quando relacionados com as características de Ciência de contexto (ssc), conforme discutido no capítulo 4.5. Por se tratar de uma aplicação (realidade virtual *pervasiva*) que envolve diversos recursos de interatividade, em especial o processamento de áudio em tempo real, foram utilizados dois tipos de estrutura de áudio para o presente sistema: áudio estático e áudio dinâmico. As estruturas de áudio estático podem ser utilizadas em cenários onde os objetos que emitam ou reconheçam áudios são definidos no projeto (estáticos), ou seja, não possuem interações dinâmicas (de movimento) com jogadores ou outros objetos da cena. Esse tipo de aplicação está estruturado com a API de áudio do motor de jogo por ser nativo da *engine* e não necessitar de acesso externo. Essas estruturas estáticas de áudio também podem ser utilizadas como alerta sonoro de forma a garantir a segurança dos jogadores (requisitos de segurança 4.2.3) quando se aproximam de uma zona proibida no ambiente ou de uma zona de perigo (paredes, escadas, declives, objetos, etc).

As estruturas de áudio dinâmicas que requerem movimentos ou interação (física) com o jogador foram implementadas no sistema através da biblioteca irrKlang (Ambiera, 2018). A mesma oferece um conjunto de funcionalidades sonoras que auxiliam no desenvolvimento de aplicações que necessitam de manipulação de áudio.

Essa biblioteca atua em conjunto com o módulo de gerenciamento de rastreamento e o módulo de gerenciamento de dispositivos, uma vez que a mesma possui informação de contexto e está relacionada intrinsecamente com a característica de comunicabilidade e consequentemente com os requisitos de ciência de contexto. Outra característica fundamental está relacionada à característica de interação do usuário com os objetos do cenário (objetos *proxy*) através da interação baseada em sensores. Dispositivos hápticos e sensores que requerem ou utilizam áudio, assim como desenvolvido na biblioteca gráfica fazem uso e comunicação com o motor de jogos através da utilização de *plugins*. A biblioteca irrKlang (Ambiera, 2018) possui recursos conhecidos de bibliotecas de áudio de baixo nível, além de vários recursos úteis, tais como mecanismo de streaming sofisticado, leitura de áudio extensível, modos *single* e *multithreading*, emulação de áudio 3D para *hardware low-end*, sistema de *plugin*, e modelos *rolloff*. Esta biblioteca dinâmica pode ser utilizada em um processo no qual o jogador pode

manipular e interagir com o som através de dispositivos físicos por reconhecimento de gestos (bastão, marcadores, objetos *proxy*).

Structured interaction in the SoundThimble (Burloiu *et al.*, 2017) é um exemplo de uma plataforma de *design* para interação sonora em camadas baseada na relação entre movimento humano e objetos virtuais no espaço 3D. O projeto aproveita a tecnologia de captura de movimento (*motion capture*) e os algoritmos de detecção de gestos para habilitar novos modos de exploração e transformação de som em tempo real. Três formas de interação (dinâmica, centrada em busca de objetos, manipulação e arranjo) permitem explorar as possibilidades de estruturas em camadas e percepção estendida sonora. Segundo (Burloiu *et al.*, 2017) a narrativa começa como um jogo imersivo, em que um jogador tenta encontrar um som (um objeto virtual estacionário, aleatoriamente posicionado no espaço 3D), através de sensores de captura de movimento analisando sinais que estão constantemente mudando no tecido sônico baseado no movimento relativo da mão (Figura 10). Uma vez que o objeto é encontrado, ele se liga à mão, e sua manifestação sonora ganha uma relação causal mais rica: o jogador é capaz de explorar a paleta sonora do objeto e registrar vários gestos que podem acionar ou manipular mudanças sônicas e eventos. Quando existem vários objetos no espaço, um movimento específico pode atuar em um ou mais objetos, dependendo de quais probabilidades de detecção excedem o limite.



Figura 10 – SoudThimble (Burloiu *et al.*, 2017) extraído de (Initiatives, 2018)

Em realidade virtual pervasiva no exemplo *SoundThimble* (Burloiu *et al.*, 2017) o dispositivo permite ao usuário manipular o áudio através de movimentos e gestos capturados. Este tipo de *setup* permite utilizar o sentido da audição como sendo o sentido dominante.

5.1.3 MÓDULO DE INTERAÇÃO

O módulo de interação possui definições de rastreamento de objetos e rastreamento do usuário no ambiente real, bem como dos eventos utilizados para a comunicação. Os objetos *proxy* no ambiente real permitem ao usuário uma resposta háptica captando e reconhecendo informações do mundo real a partir de diversos tipos de dispositivos (informação de contexto).

Esse módulo foi desenvolvido como principal componente para implementar a interação do usuário e a aplicação. Possui diversas ferramentas, podendo ser desde interações simples até interações mais complexas, como os dispositivos vestíveis (*wearable technology*). O módulo possui em seu núcleo dois módulos: gerenciamento da realidade mista e gerenciamento de dispositivos. Ambos são responsáveis pelo controle e gerenciamento de rastreamento do usuário no ambiente real/virtual e controle dos dispositivos de entrada e saída de dados. Ligado diretamente ao módulo de processamento gráfico, o módulo é capaz de conectar as definições das entidades responsáveis pela criação dos elementos reais presentes no ambiente real com as definições das entidades presentes no ambiente virtual.

5.1.4 MÓDULO DE GERENCIAMENTO DE RASTREAMENTO

O módulo de gerenciamento de rastreamento é responsável pelo rastreamento (*tracking*) e integração do jogador e objetos físicos do ambiente real com o ambiente virtual. Foram implementadas três tecnologias que podem ser usadas em virtualidade pervasiva, em particular relacionados ao problema de mobilidade: captura de movimento, luz estruturada, câmera infravermelho.

A captura de movimentos (*Motion capture*) permite gravar os movimentos do corpo de uma pessoa real, a fim de aplicá-los a um personagem 3D virtual. O ambiente é equipado com um conjunto de câmeras ópticas. Marcadores reflexivos são colocados no corpo do jogador ou em qualquer objeto que deve ser rastreado na cena. Cada câmera emite luz infravermelha. A onda de luz é refletida pelos marcadores e enviada de volta para a câmera, que registra sua posição no espaço de tela. Usando um processo de triangulação, as coordenadas 3D de cada marcador são reconstruídas para cada quadro, combinando os dados 2D de cada câmera. Como resultado, a posição e orientação do corpo, cabeça e objetos podem ser calculados a partir das trajetórias dos marcadores. Os dados são finalmente inseridos no aplicativo VR para atualizar os diferentes elementos conforme os dados de entrada. Para esse tipo de aplicação dois fatores

são fundamentais e devem ser levados em consideração: latência e precisão de posicionamento. Isso significa que aplicações para virtualidade pervasiva, utilizando sistema de *motion capture* como esquema de rastreamento dos jogadores, necessitam de um computador com grande capacidade de processamento. Artanim (Artanim, 2015) (Figura 11) e The Void (Void, 2015a) usam esse tipo de tecnologia. Segundo (Artanim, 2015), o objetivo é permitir que as pessoas se movimentem fisicamente dentro do espaço real.

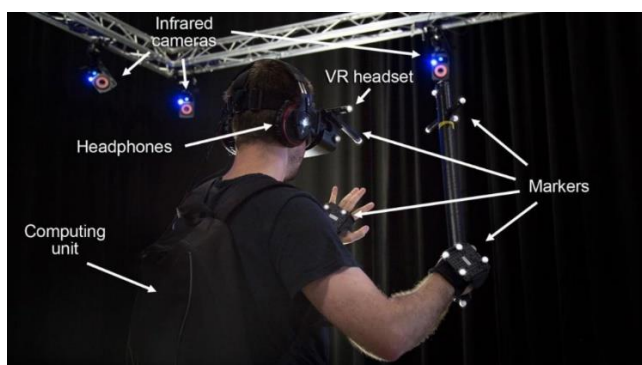


Figura 11 – Artanim Motion Capture, extraído de (Artanim, 2015)

Os dados de captura de movimento devem ser transmitidos para o mecanismo de jogo 3D o mais rápido possível para minimizar a latência e, portanto, o possível desconforto com o fone de ouvido VR.

Por um lado, os dados de orientação calculados usando o sensor do *headset* apresentam latência muito baixa, mas estão sujeitos a variações no tempo. Uma desvantagem deste tipo de aplicação identificada por nós para o uso redes passivas (capítulo 5.2.1) implementada no sistema é a latência criada pelo fluxo de dados enviados da máquina servidora para a máquina cliente. Os dados de posicionamento fornecidos pelo sistema de captura de movimento são muito precisos, mas podem ter mais latência devido ao fluxo de dados. Para combinar as vantagens das duas tecnologias, (Artanim, 2015) desenvolveu algoritmos de fusão que preservam a baixa latência e a alta precisão de posicionamento, garantindo uma experiência de usuário sem interrupções. A fim de manter a configuração do jogador a mais breve possível, a equipe da Artanim (Artanim, 2015) optou por reduzir o número de marcadores usados para o número mínimo, garantindo ao mesmo tempo uma boa precisão de rastreamento.

Os algoritmos de redirecionamento recriaram os movimentos completos do corpo do usuário usando as informações parciais fornecidas pelos marcadores. Eles obtêm toda a informação necessária para calcular a posição e orientação do visitante no espaço, a orientação da cabeça (onde o visitante está olhando), bem como os movimentos das mãos e dos pés para

fornecer *feedback* em tempo real no ambiente virtual. Outra desvantagem identificada por nós nesse tipo abordagem é que os objetos *proxy* que necessitam de comunicação direta com a rede devem ser inseridos e configurados antes do início de cada jogo ou treinamento, ou seja, caso seja necessário inserir no jogo um sensor, por exemplo, este deverá ser configurado antes do início do jogo.

Técnicas de luz estruturada (*Structured-Light/Time-of-Flight*) é outra abordagem que pode ser usada no sistema de locomoção do ambiente. Esse método utiliza estéreo com visão ativa, em que uma sequência de padrões conhecidos é projetada sequencialmente em um objeto, que é deformado com sua forma geométrica. O objeto é então observado a partir de uma câmera de uma direção diferente. Ao analisar a distorção do padrão observado, ou seja, a disparidade do padrão projetado original, a informação de profundidade pode ser extraída (Sarbolandi *et al.*, 2015). As câmeras de luz estruturada, como o *Kinect*, usam um número baixo de padrões para obter uma estimativa de profundidade do cenário a uma taxa de quadros “alta” (30 FPS). Normalmente, ele é composto de um projetor laser infravermelho próximo (NIR) combinado com uma câmera CMOS monocromática que captura variações de profundidade das superfícies dos objetos na cena. Técnicas simples de triangulação são posteriormente usadas para calcular a informação de profundidade entre o padrão projetado visto pela câmera NIR e o padrão de entrada armazenado na unidade. A tecnologia *Time-of-Flight* (ToF) é baseada na medição do tempo que a luz emitida por uma unidade de iluminação requer para viajar para um objeto e de volta para o conjunto de sensores (Grzegorzek *et al.*).

O *KinectToF* utiliza a abordagem de modulação de intensidade de onda contínua, que é mais comumente usada em câmeras ToF. A ideia geral é iluminar ativamente a cena sob observação usando luz periódica modulada por intensidade do infravermelho próximo. Creepy Tracker Toolkit (Sousa *et al.*, 2017) é um exemplo de locomoção em ambiente usando várias câmeras de profundidade, conforme ilustrado na Figura 12.

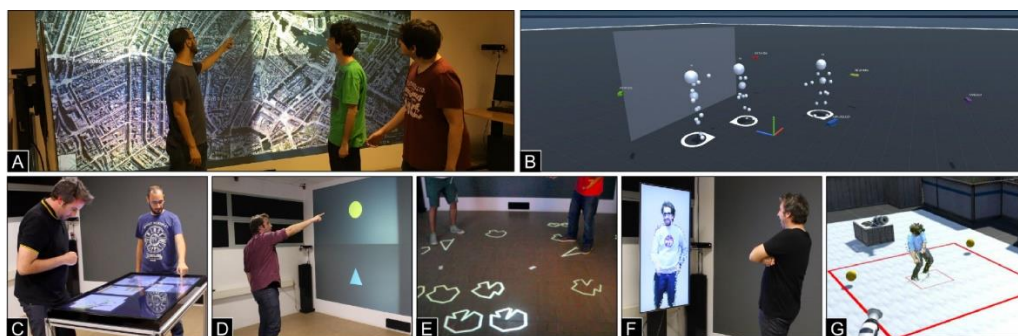


Figura 12 – Creepy Tracker open-source toolkit, extraído de (Sousa *et al.*, 2017)

Esta solução combina vários sensores de profundidade para fornecer rastreamento posicional de pessoas e ferramentas para obter localizações precisas de superfícies interativas, ao mesmo tempo em que fornece um fluxo de aplicativos *front-end* de dados de contexto. De acordo com (Sousa *et al.*, 2017), utiliza-se uma rede de unidades de sensores distribuídas conectadas a um *hub* central. Cada unidade de sensor é composta por uma câmera de profundidade Microsoft Kinect e aplicativo C# independente executado em um único computador. O número de sensores está diretamente relacionado à área requerida pela interação que está sendo projetada. As interações com uma única superfície vertical típica (até 4m × 2m) podem exigir uma ou duas unidades, enquanto as interações em torno de uma mesa normalmente precisam de vários sensores ao redor dessa superfície (até 5). Cada unidade de sensor fornece um fluxo de dados contínuo. Eles convergem no *hub* central do rastreador, responsável pela sincronização, processamento e fusão dos dados. O *hub* central também transmite o estado do ambiente rastreado para aplicativos clientes. Além disso, para o modelo virtual das pessoas e superfícies rastreadas serem precisamente alinhadas com a topologia física da sala, a posição e a orientação dos sensores devem ser primeiramente calibradas. A adição de superfícies requer uma calibração ativa para cada nova superfície, definindo o plano da superfície usando dados de profundidade 3D de um sensor. Após a calibração, conforme as pessoas se movem na área rastreada, o modelo virtual é atualizado em tempo real, enquanto transmite os dados atualizados. O modelo de rastreamento do corpo é transmitido para o *Hub* do *tracker* usando um fluxo UDP, enquanto as nuvens de pontos estão disponíveis por meio de uma conexão TCP simultânea.

Por fim, uma terceira possível tecnologia para locomoção em ambientes reais/virtuais é a utilização de câmeras infravermelho. Um exemplo desse tipo de tecnologia que pode ser aplicado em virtualidade pervasiva foi utilizado por (Thuillier *et al.*, 2017). VRTracker System (Thuillier *et al.*, 2017), conforme ilustrado na Figura 13, é um exemplo de sistema que utiliza os princípios de *motion capture* com câmeras de baixo custo modificadas para ambiente de locomoção. O VR Tracker é um sistema de rastreamento de posição *Open Source* 3D para Realidade Virtual. Este dispositivo visa melhorar as experiências de RV, permitindo que o usuário se mova em um ambiente. Ele usa pelo menos duas câmeras de rastreamento infravermelho (*PixyCam*), que enviam posições 2D infravermelho via rede passiva *Wifi* graças a um chip ESP8266. Esses dados podem ser processados em um telefone ou PC para triangular a posição e obter uma posição 3D a partir de duas posições 2D.

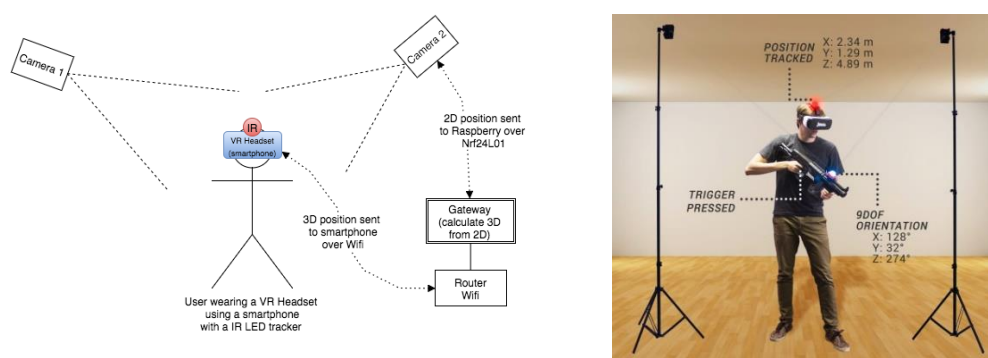


Figura 13 – VRTracker System (Thuillier *et al.*, 2017)

De acordo com (Thuillier *et al.*, 2017), o sistema usa o OpenCV (Opencv, 2015) para calcular o posicionamento 3D em múltiplas posições 2D. Primeiramente, é necessária uma sequência de calibração. A calibração consiste em gravar algumas posições 2D com as câmeras e associá-las à posição 3D real. Com a calibração e algumas funções OpenCV, eles são capazes de deduzir a posição 3D de cada câmera e obter uma matriz de projeção com alguma triangulação. Embora os sistemas tenham precisão, o espaço alocado é pequeno. Em VEs imersivos, muitas vezes as ações de uma pessoa são limitadas ou alteradas como consequência direta da interface.

A biblioteca implementada neste trabalho permite, através da conexão com *plugins*, integrar os três tipos de tecnologias aqui listados. Cada tecnologia possui vantagens e desvantagens em detrimento das aplicações em realidade virtual pervasiva quando utilizadas no sistema de locomoção.

5.1.5 MÓDULO DE GERENCIAMENTO DE DISPOSITIVOS

O módulo de gerenciamento de dispositivos é responsável pelo controle e a interação por meio de dispositivos que possuem informação de contexto e/ou dispositivos que requerem respostas físicas/hápticas. Ciência de contexto, segundo (Dey, 2001), é um componente importante dos jogos de realidade virtual de ação ao vivo, o que significa que esses jogos são capazes de adaptar a jogabilidade de acordo com as condições do contexto atual. Alguns exemplos de informações de contexto são: 1) condições físicas do ambiente (por exemplo, temperatura, umidade, condições de iluminação, clima); 2) informações do jogador (por

exemplo, estado fisiológico, preferências pessoais, traços de personalidade); 3) informações derivadas das formas como um jogador interage com objetos físicos e dispositivos de entrada; e 4) informações derivadas de relacionamentos e interações entre os jogadores no jogo (o contexto social).

A realidade virtual pervasiva pode usar informações contextuais como fontes de conteúdo do jogo, o que pode criar experiências de jogos imprevisíveis e jogabilidade emergente. Esses jogos são capazes de detectar informações de contexto através de vários meios; alguns exemplos são: 1) O local físico onde o jogo acontece pode hospedar objetos físicos equipados com sensores. Esses dispositivos podem estar conectados a outros objetos semelhantes e a servidores de jogos; 2) O jogador carrega ou usa dispositivos que detectam contexto do ambiente e/ou do jogador; e 3) O jogo consulta informações remotas sobre o jogador com base na identidade do jogador (por exemplo, perfis de redes sociais).

Os jogadores podem interagir com o jogo e com outros jogadores através de múltiplas modalidades (movimentos de voz, movimentos corporais e gestos), objetos físicos comuns e dispositivos sensíveis ao contexto, apoiando paradigmas de interação tangíveis e de contexto. Por exemplo, o jogador pode interagir com o jogo manipulando dispositivos móveis cientes do contexto e objetos físicos comuns (por exemplo, bastões de madeira, rochas).

Um dispositivo móvel com reconhecimento de contexto é um dispositivo portátil equipado com sensores que permitem ao jogo detectar contexto. Um objeto físico comum poderia ser um bastão de madeira que o jogo usa para representar uma espada (por exemplo, sua representação virtual). O jogador não vê esses objetos diretamente - o jogo apresenta sua representação virtual ao jogador através do HMD. Esses exemplos realizam a "metáfora do objeto tangível", que significa "interfaces homem-máquina que casam informações digitais com objetos físicos" (Ishii e Ullmer, 1997).

Uma outra maneira de interagir em jogos de realidade virtual pervasiva toma forma com objetos físicos cientes do contexto que são colocados no ambiente onde o jogo acontece. Por exemplo, um *game stage* pode hospedar um objeto contendo um sensor de proximidade que abre uma porta quando alguém se aproxima. Esse tipo de interação é de "natureza implícita – requisito de Interação baseada em sensor – Sessão 4.6.4 " (Valente e Feijó, 2014) – sendo que a interação ocorre inadvertidamente do ponto de vista do jogador, aparentemente sem comando de jogador "direto" (ou consciente). Os jogos podem fornecer informações aos jogadores através de várias modalidades e dispositivos. O jogo pode fornecer *feedback háptico* através de dispositivos portáteis (como luvas e coletes) e dispositivos móveis. Os dispositivos de saída

nesses jogos não se limitam à mídia digital - por exemplo, um dispositivo pode produzir cheiros, calor, frio, vento e água, fornecendo estimulação para diversos sentidos.

Em computação pervasiva é essencial uma infraestrutura de sensores e atuadores conectados por redes de comunicação. Essas redes de sensores permitem integrar a realidade física em plataformas de computação virtual. Sensores e tecnologias sem fio, tem impulsionado a criação de tais infraestruturas. O módulo foi desenvolvido contemplando o gerenciamento do comportamento dos diversos dispositivos, bem como as políticas de manuseio implementados, atendendo as características e requisitos de resiliência e segurança. Cada classe do módulo de *gerenciamento de dispositivos* juntamente com as classes do módulo de *gerenciamento de rastreamento* possui representações, configurações e informações estruturais que fornecem acesso às funcionalidades físicas dos objetos do sistema. A classe *device* possui atributos de entrada (*input*) e saída (*output*) de dados e informação de contexto dos dispositivos que requerem respostas físicas ou hápticas. Cada objeto (*proxy object*) é tratado pela rede com um objeto nó (capítulo 5.2), o que permite instanciar e “destruir” o objeto em tempo de execução, bem como gerenciar as informações que são passadas à interface gráfica através da rede. Este tipo de operação permite diminuir o fluxo de dados excessivo consumido pela rede em realidade virtual pervasiva (em especial para os sensores que utilizam redes sem fio) e implementar as características e requisitos de uma política de tratamento de incerteza e estimulação da atividade de simulação (*sap*).

Objetos e sensores que não estão sendo utilizados em tempo real na aplicação não são criados e instanciados, gerando menor fluxo e processamento na rede de comunicação, uma vez que as alterações sofridas por um nó da rede são executadas em seus nós adjacentes. Esse tipo de operação é possível devido às classes existentes na biblioteca do módulo de gerenciamento de rastreamento, já que o mesmo é responsável pelo rastreamento dos jogadores no ambiente real. À medida que o jogador se aproxima de um (*objeto proxy* – sensores, atuadores, dispositivos) este é criado e instanciado como um nó da rede e consequentemente é instanciado pelo módulo de processamento gráfico e suas bibliotecas quando necessário. Quando o jogador ou usuário se afasta do objeto, o mesmo é “destruído” pela aplicação liberando assim o fluxo de dados utilizado pela rede. Diferentemente dos outros módulos, o módulo de gerenciamento de dispositivos pode utilizar mais de um *plugin* ao mesmo tempo no motor de jogos. Cada vez que o sistema requisita uma ação, este por sua vez, dispara um evento ao *plugin*, que processa e atualiza o estado do sistema e do motor de jogos através da rede física (Redes 5.2).

5.1.5.1 DISPOSITIVOS E SENSORES

A ciência de contexto permite aos jogos de realidade virtual pervasiva coletar informações do mundo real e dos jogadores, por intermédio de sensores em tempo real, usando esses dados como informações de entrada. Isso significa que um jogo é capaz de se adaptar à jogabilidade e ao jogador de acordo com as condições do contexto corrente. Para tanto, são empregados dispositivos e sensores. Dispositivos e sensores acoplados com o intuito de captar informações do ambiente real, como por exemplo, temperatura, umidade, condições de iluminação, hora do dia, bem como dispositivos

Alguns exemplos de informação consideradas como "contexto" em jogos de realidade virtual pervasiva são informações físicas do ambiente.

Informações físicas do ambiente: Incluem sensores de temperatura, umidade e condições de iluminação, hora do dia, informações sobre o tempo e ruídos do ambiente. Os sensores podem ser acoplados a marcadores inteligentes e transmitidos via sinal de rádio/*wifi/bluetooth* a um comunicador central no HMD. Os sensores podem influenciar diretamente em um ambiente real e virtual. Alguns sensores que podem ser utilizados virtualidade pervasiva são:

1. Sensor de temperatura e Umidade

O Sensor de Umidade e Temperatura (Figura 14a) pode ser utilizado em realidade virtual pervasiva para simular ambientes quentes e frios ligados a uma central de ar condicionado ou aquecedor. A comunicação com a central no HMD através de ondas de rádio pode influenciar tanto o cenário do jogo quanto o ambiente ao qual o jogador está inserido. Um exemplo prático da utilização deste sensor implementado no sistema foi a geração de conteúdo dinâmico integrando sensores de temperatura para alterar cores e animações no mundo virtual de acordo com a temperatura física de um aquecedor (Valente *et al.*, 2016a).

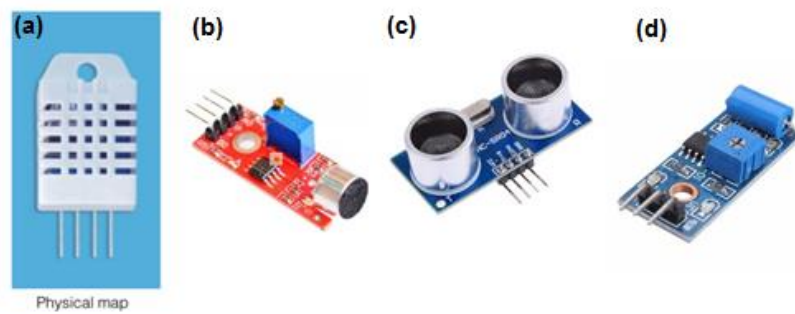


Figura 14 – a) Sensor de Temperatura; b) Sensor de som; c) Sensor ultrassônico; d) Sensor de Vibração

2. Sensor de som

O Sensor de Som tem como objetivo medir a intensidade sonora do ambiente ao seu redor, variando o estado de sua saída digital caso detectado um sinal sonoro. Exemplos de seu uso em realidade virtual pervasiva podem ser um sistema de alarme, ou sistema de comunicação por voz entre o jogador e central de reconhecimento de voz ou entre os jogadores (Figura 14b).

3. Sensor de vibração

O sensor de vibração tem como objetivo medir a intensidade de vibração de algum ambiente. O sensor pode ser colocado no solo servindo com alerta da passagem de algum jogador e consequente abertura de algum sistema conectado ao mesmo. (Figura 14d).

4. Sensor de ultrassônico

O Sensor ultrassônico (Figura 14c) é capaz de medir distâncias entre 2 centímetros e 4 metros de precisão. O mesmo pode ser utilizado como um sensor de aproximação do jogador de uma distância ou área específica. Ao entrar na distância determinada o mesmo aciona um sistema de saída que pode ser um pequeno motor na abertura de uma porta ou acionamento de um sistema de ventilação Figura 15.



Figura 15 – Exemplo utilização sensor ultrassônico sistema de ventilação

Alguns exemplos de informação consideradas como "contexto" em jogos de realidade virtual pervasiva são informações baseadas no corpo do jogador.

Informações físicas do Jogador: este tipo de interação pode se dar através dos movimentos do corpo ou de sensores acoplados ao jogador que permitem medir informações provindas do mesmo (batimentos cardíacos, temperatura, pressão, movimentos).

1. Sensor de batimentos cardíacos

O sensor de pulso monitor cardíaco efetua a leitura das batidas do coração usando um sensor óptico amplificado que envia os dados para o microcontrolador. Esse tipo de sensor permite, por exemplo, em aplicações de realidade virtual pervasiva, implementar os requisitos de adaptação da atividade de simulação e a geração de conteúdo dinâmico, uma vez que as informações de contexto disponibilizadas pelo sensor podem mudar as regras

de simulação. De acordo com a frequência cardíaca, por exemplo, a aplicação pode aumentar ou diminuir a iluminação e/ou o som.

2. Sensor de movimentos

O sensor de movimento é um dispositivo capaz de medir a aceleração e posição de um corpo ou objeto em relação à gravidade. São conhecidos como acelerômetro e giroscópio e dependendo da sua complexidade, que varia de acordo com o número de eixos, pode também medir a direção dessa força. Em realidade virtual pervasiva, por exemplo o dispositivo pode ser utilizado acoplado as partes do corpo para indicar o grau de inclinação do jogador ou de partes de membro dos jogadores.

Dispositivos Tangíveis: Sistemas computacionais são empregados em diversas tarefas e áreas do conhecimento humano. Para interagir com tais sistemas, técnicas de interação proporcionam diferentes maneiras de se manipular e obter informação digital.

Segundo (Nunes *et al.*, 2011) as Interfaces Tangíveis (TUI) representam a classe de sistemas que reconhecem interações executadas sobre artefatos físicos, e as aplica no contexto de seu software, característica que permite o surgimento de sistemas de tempo real em áreas ainda não exploradas plenamente por sistemas de Interface Gráfica. Para (Nunes *et al.*, 2011) a capacidade das interfaces tangíveis em reconhecer interações aplicadas sobre objetos e aplicá-las no contexto de um sistema computacional, abre possibilidade de tornar interações com computadores mais próximas das interações com processos do mundo real. Para alguns campos de atuação de sistemas, tal característica pode significar melhor desempenho ou maior satisfação de requisitos sistêmicos. Interfaces Tangíveis podem ser definidas, segundo (Ishii e Ullmer, 1997; Fishkin, 2004; Nunes *et al.*, 2011) como aquelas que compreendem interações realizadas em artefatos físicos, como estímulos para interferir no contexto e representações de informação digital. Nesse sentido os paradigmas de realidade virtual pervasiva casam com a "metáfora do objeto tangível" definido por (Ishii e Ullmer, 1997) no qual objetos tangíveis podem ser transportados e utilizados pelo usuário na fase de simulação. Os dispositivos que captam a interação do usuário podem ser convencionais (teclado, mouse) ou não convencionais (luva de dados, sensores). Finalmente para (Nunes *et al.*, 2011) as interfaces tangíveis acrescentam novas capacidades e elementos à detecção da interação com o usuário. Esse tipo de interface reconhece interações feitas em objetos reais que estão fortemente ligados a representações

virtuais num sistema, podendo assim interpretar qualquer objeto cotidiano como um dispositivo de entrada, e de acordo com suas características e atributos, refletir na representação virtual e produzir as saídas correspondentes. Nesse sentido foram implementadas na biblioteca do sistema classes que permitem captar gestos e retorno háptico dos dispositivos para interação do usuário no mundo real/virtual. Dentre os dispositivos destacam-se:

1. Dispositivo de movimentos: foi implementada uma biblioteca de suporte ao dispositivo Myo (Scott, 2014) Figura 16 – Myo Gesture Control, extraído de (Scott, 2014). Consiste em um dispositivo eletrônico de interação homem computador por meio de um bracelete colocado no antebraço que reconhece as atividades elétricas que ocorrem nos músculos e permitem interações com um nível de precisão na captura e interação dos movimentos. A captura e os movimentos são tratados pela biblioteca de gerenciamento de dispositivos responsável pelas informações de contexto. O sensor permite que o usuário possa executar ações baseadas nas leituras de atividade muscular, por exemplo, usando mapas como pontos de controle tangíveis para um braço robótico, controle de dispositivos de mídia, drones, robôs, controle de som e iluminação em um ambiente de virtualidade pervasiva.



Figura 16 – Myo Gesture Control, extraído de (Scott, 2014)

2. Dispositivo de movimentos: O dispositivo *Leap Motion* (Leap Motion, 2018) Figura 17 foi implementado no módulo de gerenciamento de dispositivos como um dispositivo de interação homem computador. Este dispositivo acoplado ao HMD permite que o usuário possa interagir fisicamente com os objetos e partes do ambiente, uma vez que, o dispositivo faz uma leitura baseada em uma projeção de luzes infravermelhas, captando

movimentos precisos e simultâneos dos dedos e do braço do usuário. Segundo o fabricante do dispositivo (Leap Motion, 2018), a latência é inexistente para os olhos humanos, sendo inferior à taxa de atualização de monitores de computador. Este dispositivo permite, por exemplo, juntamente com a biblioteca de gerenciamento de rastreamento (rastreamento), que o usuário possa tocar, manipular, carregar um objeto (*proxy object*) de uma parte a outra do ambiente. Neste caso, o objeto físico é rastreado pela biblioteca de rastreamento, que necessita saber as posições e dimensões do objeto a ser rastreado.

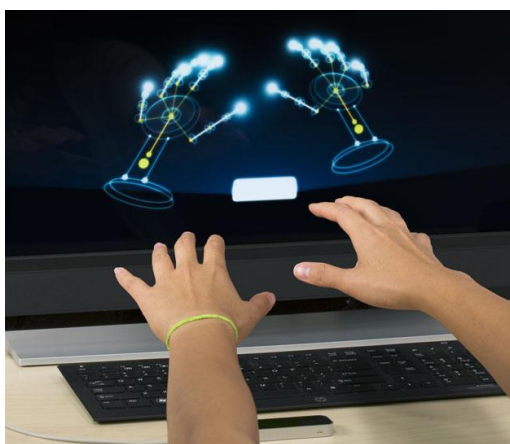


Figura 17 – Leap Motion extraído de (Westover, 2013)

5.2 REDES

Em realidade virtual pervasiva os problemas de rastrear as características do mundo físico e manter o mundo virtual adequadamente sobreposto ao mundo físico, além de rastrear os jogadores pelo ambiente real são de importância central. Sendo assim, o principal objetivo do sistema de tecnologia de redes é monitorar e integrar os diversos dispositivos e sensores do ambiente real e consequentemente do ambiente virtual. Para resolver esses problemas, o requisito comunicabilidade é fundamental.

Duas características do requisito de comunicabilidade são necessárias para a criação de um ambiente de realidade virtual pervasiva: conectividade e comunicação. A infraestrutura de redes deve ser capaz de suportar tanto as atividades de simulação real, simulação virtual quanto a comunicação referente aos objetos de *proxy* colocados no ambiente físico que podem gerar informações e efeitos físicos no ambiente. Por se tratar de uma aplicação que consome um

extensivo fluxo de dados (fluxo de vídeo e áudio de câmeras e microfones, fluxo de posição e valores de orientação do sistema de rastreamento, bem como eventos de sensores), a base da arquitetura de rede foi desenvolvida sobre os conceitos de nós seguindo as premissas de *data flow graph*. Os nós podem ser considerados estáticos (só recebem ou enviam dados) ou dinâmicos (enviam e recebem dados). As classes são gerenciadas de modo que as alterações sofridas por um nó são executadas em seus nós adjacentes relacionados aos componentes do mundo real/virtual e a partir deles, a informação é passada aos subcomponentes relacionados à interface gráfica/háptica e ao motor de jogos. Para criar um novo nó, o desenvolvedor do jogo precisa derivar uma nova classe do nó abstrato. Os nós podem estar vinculados ao aplicativo ou podem ser carregados como *plugins* no motor de jogo durante o tempo de execução.

O Gerenciamento de Redes é responsável por manter e estruturar toda a rede de sensores que integram o ambiente real/virtual. É composto pelo sistema de Tecnologia de redes e seu objetivo principal é coletar as informações, processá-las e enviá-las ao usuário ou ao ambiente.

Para a presente tese foram elencadas duas abordagens de dispositivos que são agregados a rede: dispositivos ativos e passivos para aplicações de realidade virtual pervasiva.

5.2.1 ARQUITETURA DE REDES PARA DISPOSITIVOS PASSIVOS

A abordagem de redes para dispositivos passivos apenas entrega pacotes de dados entre os nós da rede, sendo que o processamento de dados, controle de tráfego, controle de qualidade, performance e controle de operações da simulação, operações de segurança entre outras são todos executados em um servidor central. Nesse tipo de rede, os roteadores e *switches* são responsáveis apenas pela transmissão dos dados aos outros nós da rede. Para a presente arquitetura, um nó da rede pode ser considerado como qualquer objeto ou dispositivo espalhado pelo *game stage* (dispositivos vestíveis, *notebook*, objetos *proxy*, outras redes) Figura 18 .

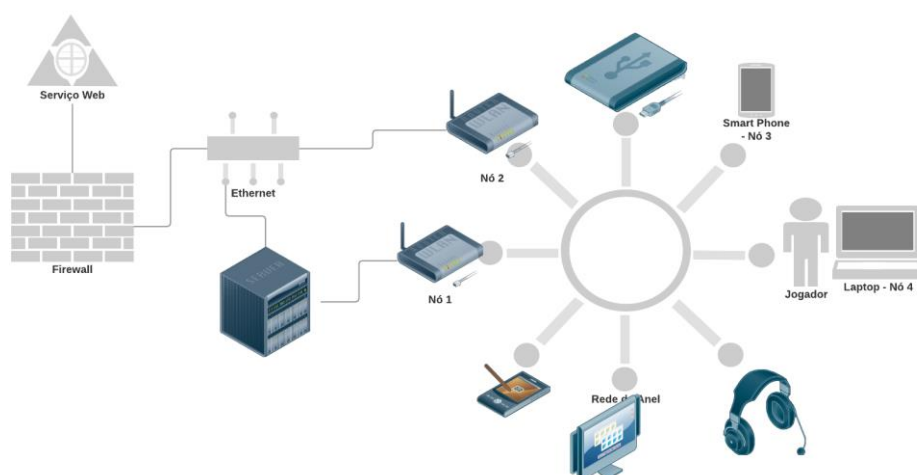


Figura 18 – Sistema de dispositivos de RV Pervasiva conectados à rede

Esse tipo de arquitetura de rede para dispositivos passivos possui grandes vantagens quando o ambiente gráfico é processado na máquina cliente (máquina portada pelo jogador) e o rastreamento (*tracking*) do jogador é processado no servidor, especialmente quando rastreamento é feito por *motion capture*. A vantagem é que a máquina servidora pode processar o rastreamento e enviar à máquina cliente (mochila do jogador) por intermédio da camada de comunicação da rede apenas o posicionamento do jogador no espaço real/virtual em tempo real. Um exemplo desse tipo de arquitetura de redes foi utilizada em (Thuillier *et al.*, 2017). Para comunicação dos dispositivos de rastreamento (Thuillier *et al.*, 2017) utilizou um dispositivo denominado *Gateway*. O dispositivo é responsável por receber e calcular a posição 3D do jogador e de objetos *proxy* através do protocolo de comunicação *Websocket Cliente*. Esse tipo de tecnologia é utilizado em aplicações que requerem atualizações regulares e rápidas a partir de um *webserver*, como por exemplo, jogos multiplayer e aplicações de chat, dentre outros.

O *WebSocket* pode ser usado em muitos ambientes e linguagens de programação como protocolo de comunicação: JavaScript, Java, iOS, Android, .NET e C. Esse tipo de aplicação é útil em realidade virtual pervasiva por possuir bibliotecas em diferentes linguagens conectadas a motores de jogos como por exemplo: *websocket-sharp* para o motor de jogo da Unity C# e *HTML5Networking* para o motor de jogo Unreal Engine 4. Os WebSockets HTML5, segundo (Kaazing's, 2018), fornecem uma enorme redução no tráfego de rede e latência desnecessários em comparação com as soluções de pesquisa, uma vez que, não é requerida nova conexão quando existe uma conexão aberta. Isso permite que os dados de posicionamento do jogador e

de objetos *proxy* em um ambiente de realidade virtual pervasiva possam ser enviados via cliente/servidor com rapidez.

5.2.2 ARQUITETURA DE REDES PARA DISPOSITIVOS ATIVOS

A arquitetura de rede para dispositivos ativos possui um mecanismo diferente por permitir que os dados possam ser processados pelo nó da rede, permitindo que o *designer* de jogo possa programar cada nó. Isto significa que todos os nós ativos da rede devem conhecer os protocolos, bem como os programas dos demais nós. Este tipo de arquitetura possui a vantagem de permitir que roteadores e até mesmo objetos *proxy* intermediários possam fazer processamento na camada de aplicação. Isto permite uma melhor política de gerenciamento graças a flexibilidade das redes, diminuindo o processamento que fica a cargo do servidor. Outra vantagem é que os objetos *proxy* e sensores que executam tarefas determinadas possam ser conectados e desconectados em tempo real sem a necessidade de programação no servidor. Um sensor de presença que dispara um evento no ambiente virtual ligado à rede *wi-fi* por exemplo, pode ter seu lugar alterado dinamicamente dentro do ambiente e reconhecido automaticamente pelo nó da rede através da camada de aplicação sem necessidade de programação do mesmo no servidor. O objetivo de uma linguagem de programação para redes em realidade virtual pervasiva é promover a integridade dos objetos *proxy* sem comprometer a performance da aplicação. A linguagem escolhida definirá recursos utilizados pelo designer do jogo por se tratar de sensores e dispositivos físicos. O *design* do modelo proposto para esta arquitetura de redes deve ser baseado em comunicação entre o sistema, os objetos *proxy* e o motor de jogos, o que requer monitoração dos nós ativos da rede, estado dos nós, e segurança para garantir a confiabilidade. Apesar de possuir grandes vantagens relacionadas a objetos estáticos (sensores), este tipo de aplicação de rede não é recomendado para sistemas de rastreamento (*motion capture*) por demandar um grande processamento nos nós, necessitando de um tempo maior de processamento, diminuindo assim o tempo de resposta e aumentando a latência entre o cliente e o servidor.

5.2.3 REDE DE SENSORES

Uma vez que uma das características da realidade virtual pervasiva é a interação baseada em sensores que podem ser carregados pelo jogador, conforme apresentado em Dispositivos e sensores, o sistema deve possuir uma central embarcada junto ao jogador (*body based interaction*) com o objetivo de receber e repassar o sinal de todos os sensores pelo ambiente. Elencamos quatro tipos de tecnologia que podem ser utilizadas em realidade virtual pervasiva (redes físicas, redes sem fio, *bluetooth* e a tecnologia de emissão de ondas de rádio frequência).

A Figura 19 apresenta um diagrama de dispositivos e conexões que podem ser consideradas para transmissão e troca de informações.

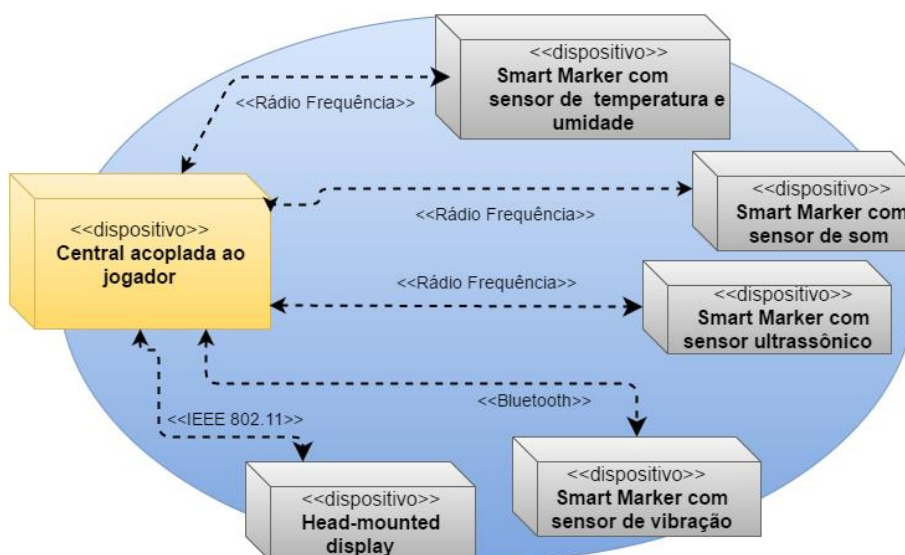


Figura 19 – Dispositivos e Conexões em virtualidade pervasiva

Apesar da organização de uma rede de sensores distribuídos estarem intimamente relacionada com a aplicação específica que se deseja desenvolver, pode-se relacionar algumas características comuns a praticamente todas. Dentre elas destacam-se a característica do endereçamento, da mobilidade, auto-organização e segurança.

- **Endereçamento:** está ligado intimamente à aplicação, ou seja, cada sensor pode ser endereçado unicamente ou não, dependendo da aplicação. Sensores embutidos no HMD ou no corpo do usuário, devem ser endereçados unicamente, uma vez que, em, necessita-se saber exatamente qual o jogador que está coletando os dados enquanto os sensores dinâmicos podem ser endereçados em grupo de atuação.

- **Mobilidade:** está ligada a capacidade de movimento dos sensores. Os sensores podem ser fixos ou móveis. Por exemplo, sensores colocados numa sala para coletar dados de umidade e temperatura são tipicamente estáticos, enquanto sensores colocados no HMD são móveis em relação ao ambiente e aos demais sensores.
- **Auto-organização:** está ligada a capacidade de cooperação entre os nós da rede. Uma vez que os sensores e atuadores são dispositivos eletrônicos e mecânicos, os mesmos estão sujeitos à falha de comunicação devido a problemas no canal de comunicação sem fio ou até mesmo por uma decisão do algoritmo de gerenciamento de redes. Desta forma é necessário haver mecanismos de auto-organização para que a rede continue a executar suas funções básicas. Esta auto-organização está intimamente ligada a políticas de incerteza. Em realidade virtual pervasiva o algoritmo de auto-organização responde prontamente a troca de comunicação quando um dispositivo para de funcionar. Quando um sinal sem fio, por exemplo, para de funcionar, a rede deve ser capaz de entender e automaticamente alterar o protocolo para a comunicação *bluetooth* ou sinal de rádio frequência.
- **Segurança:** está ligada a capacidade da rede de transmitir dados de forma segura garantindo que os dados recebidos não foram alterados durante sua transmissão.

5.3 MOTOR DE JOGOS

A *engine de game* ou motor de jogo é responsável pela configuração e controle do ambiente virtual por possuir definições de comportamentos gráficos (texturas, iluminação, *shaders*), física e sonoros, além da possibilidade de integração com os comportamentos hápticos através de *plugins* e *dlls*. As alterações de estado sofridas e executadas nos objetos de *proxy* (hápticos) são passadas diretamente para a interface gráfica. O motor deve possuir, em síntese, facilidade de criação, *design* de jogos em 3D, interação através de *plugins* e *dlls*, aplicação de componentes visuais, suporte a formatos de áudio, dentre outros. De acordo com as características relacionadas a ambientes de realidade virtual pervasiva, encontradas nas ferramentas estudadas, foi feito neste trabalho uma classificação a respeito dos principais motores de jogos encontrados em aplicações de ambientes virtuais. A classificação adotada foi

com intuito de facilitar o entendimento da estrutura apresentada por um ambiente de virtualidade pervasiva, visando tanto facilitar o desenvolvimento de aplicações quanto de ferramentas voltadas para eles.

Dentre os modelos pesquisados foram eleitos o motor de jogos da Unreal Engine e Unity por possuir elementos gráficos como: malhas 3D, fontes de luz, sistemas de partículas, física, sombras, suporte a som, bem como suportar os principais formatos de imagens e modelos 3d.

O motor de jogo Unreal Engine (Epicgames, 2004) é um conjunto de ferramentas com tecnologia em tempo real capaz de desenvolver desde aplicativos corporativos, experiências cinematográficas, jogos de console, celular, VR e AR.

O motor de jogo Unity (Unitytechnologies, 2018) também conhecido como Unity 3D, é um motor de jogo proprietário e uma IDE criado pela Unity Technologies que fornece suporte para mapeamento de colisão, mapeamento de reflexão, mapeamento *parallax*, tela de oclusão espaço ambiente (SSAO), sombras dinâmicas utilizando mapas de sombra, *shaders*, programação em JavaScript, CSharp, além de suporte a física de jogo e compatibilidade com diversos navegadores, consoles e modeladores 3D.

O motor de jogo Unity (Unitytechnologies, 2018) foi escolhido para a criação do presente sistema por possuir vasto conteúdo na comunidade acadêmica, arcabouço necessário para o desenvolvimento de aplicações que utilizem ambientes virtuais, funções de controle e gerenciamento de recursos de comunicação e integração de códigos com dispositivos hápticos.

5.4 VALIDAÇÃO CONCEITUAL DOS MÓDULOS DO SISTEMA

O objetivo principal deste capítulo é validar o funcionamento dos módulos bem como os algoritmos implementados no sistema (capítulo 5.1) considerando os requisitos propostos anteriormente.

5.4.1 COMUNICABILIDADE, VIRTUALIDADE E ESPACIALIDADE

Como prova conceitual os requisitos de comunicabilidade, virtualidade, e espacialidade as classes implementadas por nós nos módulos foram validados utilizando os dispositivos de *motion capture* no Centrul International 3de Cercetare si Educatie in Tehnologii Inovativ Creative – CINETic na Romênia (Silva, 2017), Figura 20. A validação de comunicabilidade do

sistema de captura de movimentos com o sistema de gerenciamento de redes se mostrou eficaz, uma vez que, permitiu transmitir com baixa latência e precisão a posição do usuário no *game stage* definido. Foi utilizado para isso o conceito de redes para dispositivos passivos, no qual o gerenciamento de rastreamento e gerenciamento espacial ficou a cargo do servidor de redes. Para a validação dos requisitos de comunicação em rede, foram utilizados os protocolos de comunicação *websocket-sharp* para o motor de jogo da Unity C#.

O sistema de gerenciamento espacial (espacialidade) implementado no módulo se mostrou eficaz e permitiu simular os métodos de locomoção virtual, fazendo com que o usuário caminhasse pelo ambiente virtual percorrendo uma distância maior em um ambiente relativamente pequeno.

Os objetos implementados pela biblioteca de interface gráfica e áudio ficaram a cargo do motor de jogos Unity (Unitytechnologies, 2018) implementados na máquina cliente carregada pelo jogador e com exceção do personagem e sua animação (gerenciado pela biblioteca de realidade mista) foram implementados estaticamente de forma que não influenciaram na velocidade da aplicação e na estrutura de gerenciamento da rede. Desta forma os requisitos contemplados para geração do mundo virtual (virtualidade), foram criados no sistema de pós-processamento, ou seja, foram criados primeiramente o ambiente virtual (modelagem 3D do ambiente, modelagem 3D dos personagens, iluminação) e posteriormente sobrepostos ao ambiente real respeitando as medidas impostas pelo sistema de captura de movimentos.

5.4.2 SEGURANÇA, CONSISTÊNCIA E TRATAMENTO DE INCERTEZAS

A validação dos requisitos de segurança, consistência e tratamento através dos módulos implementados foram desenvolvidos em um ambiente que não continham obstáculos físicos. A fim de validar os requisitos e características de segurança, impedindo que o usuário/jogador saísse do ambiente de testes ou colidisse com as paredes, foram implementadas em uma estrutura visual na biblioteca de interface através de *Grid virtual*. Como requisito de segurança, uma vez que, o sistema de capturas de movimento possui um nível de precisão de posicionamento, foi criado uma zona de segurança nos limiares do espaço definido para a aplicação de no máximo 50 centímetros do limite das câmeras de captura infravermelho do sistema *motion capture*. A medida que o jogador se aproximava da zona de segurança, um Grid

quadriculado aparecia na interface do HMD demonstrando que o usuário não poderia se aproximar ou ultrapassar aquela área determinada.

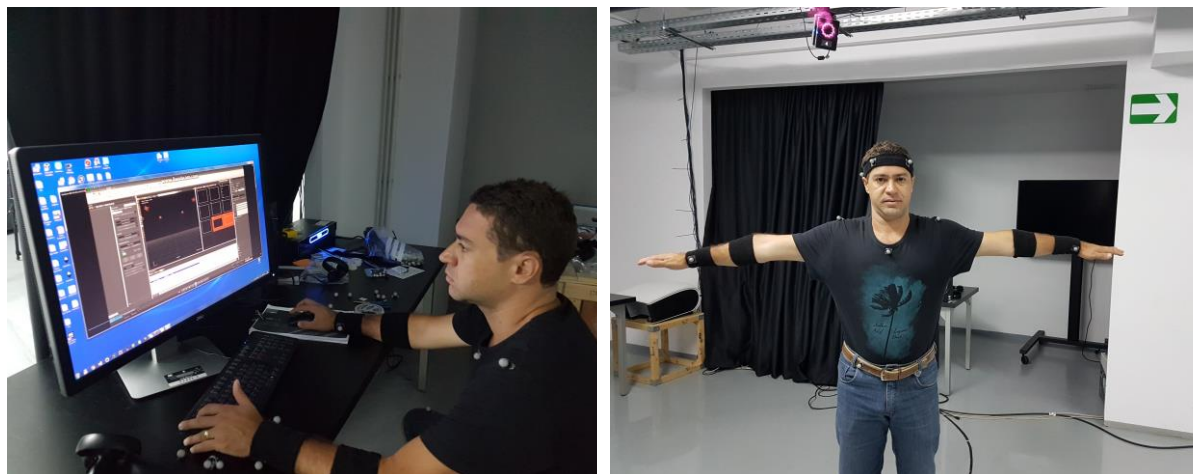


Figura 20 – Validação Sistema de Capturas Movimentos e biblioteca de gerenciamento de rastreamento (Silva, 2017).

A ligação entre o sistema de captura de movimentos *Vicon Motion Systems* (Oxford, 2018) e o motor de jogos foi feita através de um plugin nativo da plataforma, o que permitiu maior flexibilidade e menor tempo de configuração do sistema. Para esta etapa de validação não foram utilizados dispositivos e sensores o que não permitiu testar os requisitos de integração, ciência de contexto e autonomia da simulação. Como o sistema não apresentou falhas, para a aplicação do requisito de resiliência (no qual o jogo é capaz de lidar com incertezas tecnológicas) também não foi validado. Quanto à consistência e o tratamento de incertezas para garantir a consistência entre manter os mundos físicos e virtuais sobrepostos, o sistema se mostrou eficaz, uma vez que o sistema de capturas de movimentos possui um nível de precisão absoluta devido à consistência apresentada pelas câmeras de captura infravermelho.

Não foram encontradas inconsistências que pudessem afetar negativamente a experiência de simulação, sendo assim, a estimulação da atividade de simulação se manteve preservada. Um dos grandes problemas encontrados nos testes, que acreditamos estar ligados a política de manuseio de incertezas, foi a utilização de marcadores reflexivos anexados ao corpo do usuário/jogador, conforme mostra a Figura 20. Uma vez que estes marcadores são colados no corpo do jogador, movimentos bruscos ou contatos físicos com objetos deslocavam ou retiravam estes objetos.

Dependendo da quantidade de marcadores ou do posicionamento deles, o *software* do sistema de capturas de movimentos não era capaz de reorganizar o “esqueleto” sobreposto no personagem do jogo, fazendo com que o jogo ficasse prejudicado. Esse tipo de marcador também não permitia que o jogador pudesse sentar em uma cadeira ou em algum objeto do ambiente, prejudicando assim a estimulação da atividade de simulação e em casos extremos a consistência da realidade mista. Acredita-se que pequenos marcadores infravermelhos do tipo *led* embutidos na roupa, possam amenizar ou solucionar o problema. Outro problema encontrado por nós foi a oclusão de marcadores. Dependendo da aplicação e da atuação do usuário, ao se movimentar ou passar o braço por cima de um marcador, o mesmo fica sujeito a oclusão do marcador que pode prejudicar a simulação. Apesar do número de câmeras ser suficiente, para evitar este tipo de problema, optou-se por colocar um número alto de marcadores, de forma evitar a oclusão da simulação. O fato de ter que colocar e recalibrar o sistema de captura de movimentos todas as vezes que fosse inserir/trocar um novo jogador e o tempo necessário para isso foi um ponto negativo encontrado por nós. Nesse sentido, para efeito de testes, os mesmos foram feitos apenas com um usuário, impossibilitando testes de requisitos com multiusuários. Apesar das desvantagens encontradas, a validação dos módulos implementados no sistema se mostrou satisfatório para os requisitos propostos de comunicação, apresentação do conteúdo virtual, gerenciamento de redes, espacialidade, interface e motor de jogos. O Capítulo 6 apresenta a implementação de uma aplicação baseado na arquitetura proposta e uma validação de um protótipo de jogo simples com um grupo de doze jogadores com intuito de validar a aplicação.

CAPÍTULO 6 – IMPLEMENTAÇÃO DE UMA APLICAÇÃO DE NAVEGAÇÃO INDOOR BASEADO NO SISTEMA PROPOSTO

Esta primeira abordagem consiste em uma implementação de uma aplicação de navegação indoor utilizando o sistema proposta anteriormente (capítulo 5.1) com objetivo de formatar alguns requisitos (virtualidade, comunicabilidade, interação, segurança) para realidade virtual pervasiva. Em um primeiro momento serão apresentadas fases de criação da aplicação, desenvolvimento do hardware e o *pipeline* dessa aplicação utilizando como referência o sistema e os módulos do sistema proposto anteriormente (capítulo 5.1).

Em um segundo momento será apresentado um estudo conduzido com um grupo de doze usuários em um protótipo de jogo demonstrativo utilizando essa aplicação com objetivo de fazer com que o jogador possa caminhar pelo ambiente com movimentos precisos testando a sensação de imersão, bem como o grau de aceitação. Ao final serão apresentados os requisitos propostos nesta tese encontrados no jogo.

6.1.1 APLICAÇÃO DE NAVEGAÇÃO INDOOR

A aplicação proposta fornece uma solução para navegação *indoor* e rastreamento de elementos físicos. A aplicação compartilha algumas semelhanças com o sistema proposto por (Kim e Jun, 2008). No entanto, nossa aplicação usa um sistema óptico para diminuir o custo computacional necessário no estágio de reconhecimento, que corresponde à detecção de marcadores potenciais. O sistema óptico é baseado em marcadores infravermelhos capturados por câmeras modificadas, tornando assim uma estratégia mais robusta, uma vez que, diminui a interferência causada pela iluminação do ambiente. A principal vantagem de usar esses marcadores com base em luz infravermelha é o menor custo computacional para capturar, extrair e reconhecer o marcador, bem como maior precisão, quando comparado com outras soluções disponíveis para esse tipo de problema (marcadores fiduciais). O *designer* do jogo coloca esses marcadores no ambiente como um passo de pré-processamento (requisito virtualidade). O *game stage* contém dois tipos de marcadores: marcadores estáticos (*static markers*) e marcadores inteligentes (*smart markers*). A Figura 21 apresenta uma visão esquemática de um ambiente físico equipado com esses marcadores. A aplicação usa esses

marcadores para produzir algum conteúdo virtual que faz parte do estágio do jogo e para calcular a posição e orientação do usuário no ambiente.

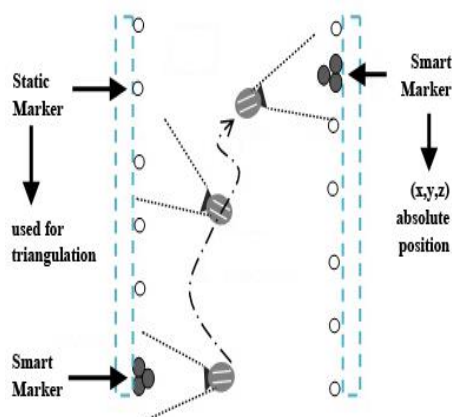


Figura 21 – Representação usuário no espaço do jogo. Paredes linhas tracejadas, marcadores inteligentes (esferas sombreadas) e marcadores estáticos (esferas transparentes)

Os "marcadores estáticos" são marcadores genéricos espalhados por todo o ambiente físico. A aplicação usa esses marcadores como um guia para estimar a posição do usuário (por exemplo, coordenadas x , y e z) no espaço físico através de algoritmos de triangulação. Esses marcadores possuem apenas um emissor de *LED* infravermelho e usam uma bateria autônoma. Para calcular a orientação do usuário, a aplicação usa os marcadores estáticos, acelerômetro e giroscópio.

Os "marcadores inteligentes" ou dinâmicos são compostos de *LEDs* infravermelhos dispostos como uma matriz e sensores incorporados. Esses marcadores têm dois objetivos: o primeiro é trabalhar como um "marcador de posição absoluta" - uma âncora no ambiente físico com localização conhecida. O segundo objetivo é habilitar o sistema para detectar informações de contexto do ambiente. Na versão, esses marcadores usam tecnologia de receptor/ transmissor de radiofrequência (RF-433 MHz) para se comunicar com outros dispositivos.

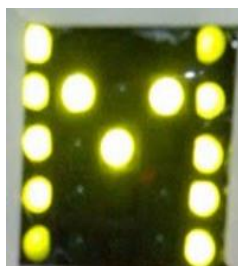


Figura 22 – Um marcador inteligente usando uma matriz de LED 5x5. Os LEDs estão dispostos a representar a letra "M" neste exemplo

No processo de calibração, o usuário utiliza o próprio HMD equipado com sensores (câmeras) capaz de rastrear os marcadores de forma a registrá-los para a criação do ambiente (Geração do mundo virtual (VWG) – sessão 4.1.1).

Com as informações registradas dos marcadores, a aplicação é capaz de gerar o conteúdo virtual, que inclui a geometria do mundo virtual e outros elementos que o *designer* deseja adicionar ao jogo. Metaforicamente, esse processo pode ser comparado com o processo de mapeamento de imagens (texturas) para polígonos em ambientes 3D. O jogo mantém os mundos virtual e real sobrepostos à medida que o jogador se move no ambiente, criando o estágio do jogo. Depois de criar a estrutura do mundo virtual, o jogo pode “aumentar” essa estrutura com conteúdo virtual.

6.1.2 HARDWARE DO SISTEMA DE RASTREAMENTO

O *hardware* de rastreamento consiste em um dispositivo Oculus Rift DK2 equipado com duas câmeras regulares (uma para cada posição do olho), que foram modificadas para capturar somente luz infravermelha (Figura 23). A aplicação usa três sensores de distância ultrassônica para calibração de precisão (por exemplo, direção esquerda, direita e superior). Para realizar esta tarefa, implementamos um método de calibração da câmera descrito na documentação OpenCV (Opencv, 2015). O hardware possui um compartimento (ou seja, uma caixa anexada) capaz de armazenar quatro sensores, que podem ser personalizados de acordo com os requisitos da aplicação. Exemplos de sensores que podem ser armazenados neste compartimento são sensores para gás, luz, temperatura e umidade. Os sensores também podem funcionar como uma plataforma para interação tangível (requisito de interação). Por exemplo, em um aplicativo de treinamento de bombeiros, um sensor pode representar um dispositivo responsável pela detecção de gases tóxicos, fumaça e informações ambientais, como temperatura e umidade.

O *hardware* de rastreamento está conectado a um computador portátil, sendo que ambos estão colocados em uma mochila (*back pack*). Esta configuração permite que um usuário use o equipamento e navegue fisicamente no *game stage* (ou seja, ambiente de realidade virtual pervasiva) sem restrições. Em outras palavras, o equipamento não possui fios anexados que possam limitar o movimento do usuário.



Figura 23 – Sistema de rastreamento

6.1.3 PIPELINE DE PROCESSAMENTO DO SISTEMA

Esta subseção apresenta uma visão geral sobre o *pipeline* de processamento que a aplicação de rastreamento usa (Figura 24).

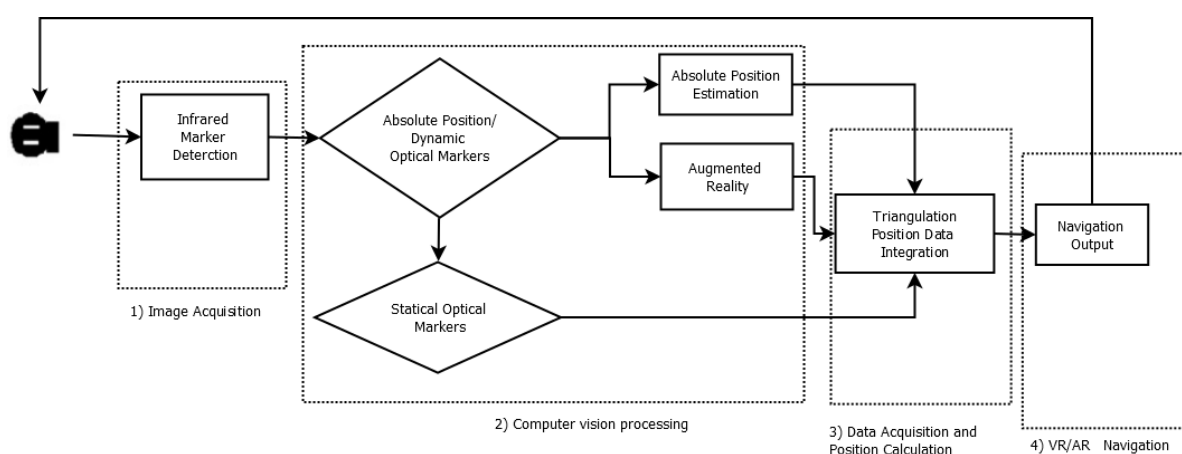


Figura 24 – Pipeline de processamento da aplicação

Foram apresentados anteriormente detalhes técnicos sobre as tarefas neste *pipeline*. As tarefas podem ser agrupadas nessas categorias: 1) aquisição de imagem, 2) processamento visual por computador, 3) aquisição de dados e cálculo de posição, e 4) navegação VR/AR.

1. Aquisição de Imagem (Detecção de Marcador de Infravermelhos): a aplicação usa as câmeras para capturar os marcadores IR. Como as câmeras possuem filtros conectados para capturar somente a luz infravermelha, esse processo gera imagens em duas cores (preto e branco), o que permite à aplicação segmentar os marcadores de IR ao limitar. Na imagem resultante, os *LEDs* IR são indicados

por regiões de alto brilho (branco) e o fundo é denotado por regiões de baixo brilho (preto).

2. **Processamento de Visual:** o algoritmo de visão por computador é responsável pela segmentação de imagem e separação de fundo. Este estágio determina posições de marcador e remove distorções de câmera, bem como distingue os marcadores estáticos de outros marcadores que o sistema usa. A aplicação é capaz de identificar diferentes marcadores aplicando técnicas de detecção e reconhecimento de recursos. Após a identificação de um marcador, sua posição é marcada no mapa espacial 3D.
3. **Aquisição de dados e cálculo de posição:** depois de identificar os marcadores e extrair dados, a aplicação inicia a aquisição de dados e a estimativa da posição do usuário. Tal posição é calculada através da triangulação estéreo. Supondo que o jogo/aplicativo comece com uma posição de usuário conhecida (através de marcadores de posição absolutos), a aplicação usa uma estimativa angular para calcular as posições relativas dos marcadores estáticos. Esses dados de posição e informações de marcador correspondentes são armazenados em um banco de dados e marcados em um ambiente virtual 3D, o que permite que um desenvolvedor crie um ambiente de realidade virtual pervasiva com base nesses dados de localização. Em outras palavras, esse estágio também é responsável pelo mapeamento correto de elementos virtuais no ambiente real.
4. **Navegação VR/AR:** O algoritmo de navegação é responsável por sobrepor os dados do marcador armazenados anteriormente (etapa 3) com os marcadores físicos reais espalhados no ambiente físico. A ideia é que o usuário se mova no mundo virtual simultaneamente enquanto ele se move fisicamente no mundo real. Após esse processo de mapeamento, o desenvolvedor é capaz de colocar objetos 3D no mundo virtual com os marcadores de realidade aumentada, criando assim uma “camada” de realidade aumentada.

6.2 PROTÓTIPO DE DEMONSTRAÇÃO DO JOGO

O protótipo de demonstração do jogo consiste em jogo simples demonstrativo baseado no *Toscana* (Oculus, 2013), conforme Figura 25. Nesse jogo, o usuário carrega um suporte manual que simula uma arma. Este suporte manual é representado por um marcador inteligente. O usuário transita pelo ambiente do jogo para destruir os invasores alienígenas disparando contra eles (com o controlador) e para evitar que os alienígenas invadam a casa. O usuário pode se mover livremente pelo ambiente para atingir esses objetivos. O campo de visão é determinado exclusivamente pela posição e orientação da cabeça do usuário. Doze usuários (com idade entre 18 e 25) participaram desse teste, sendo dois deles mulheres. Após a configuração da sala, o processo de calibração sobrepõe o mapa de marcador 3D para o mundo virtual e verifica as posições dos marcadores e as distâncias entre o usuário e os marcadores (Figura 25). Neste protótipo, foi utilizado um ambiente virtual (demo de terceiros) que não foi modelado especificamente para a sala física utilizada. A este respeito, foram utilizadas várias rodadas de estágios de reconhecimento de marcadores para garantir que a sobreposição de mundos virtuais e físicos fosse correta, minimizando assim os erros de calibração e evitando situações de colisão. Atualmente, o protótipo requer uma etapa de pré-processamento onde ele rastreia marcadores e cria um mapa de marcador 3D para usar em uma sobreposição de realidade virtual pervasiva.

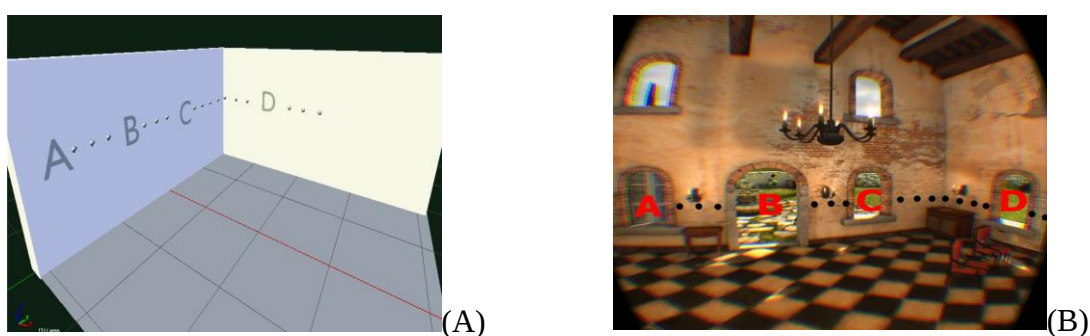


Figura 25 – Marcadores estáticos (pontos isolados) e marcadores inteligentes (padrões de letras A, B, C e D).

A **Figura 26** apresenta um gráfico que ilustra a posição de usuário prevista (coordenadas x e y) em relação aos marcadores (azul) e a posição do usuário calculada pelo sistema através da triangulação (vermelho). Os erros de triangulação aumentaram à medida que a distância da câmera para um marcador aumentou, o que resulta em uma pequena inexatidão.

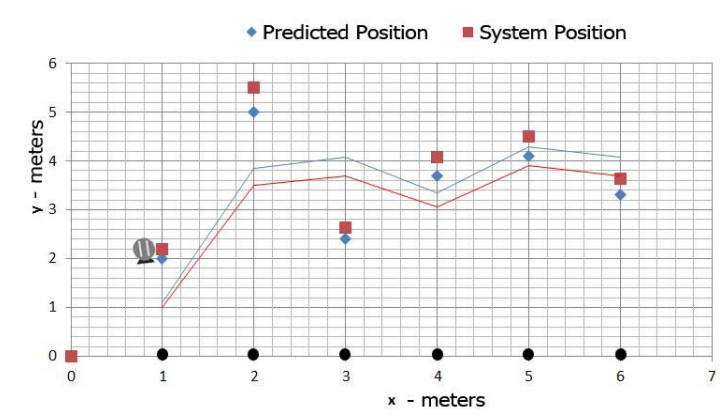


Figura 26 – Erros de precisão.

O protótipo apresentou alguns erros de precisão devido a calibrações da câmera e outros fatores, porém ao considerar o hardware de baixo custo empregado, os resultados do teste de locomoção do usuário no espaço físico determinado, bem como a captação das câmeras infravermelho pelos marcadores foram satisfatórios. Após o passo de calibração, o administrador do jogo carregou o cenário virtual, sobrepondo-o com o mundo físico, criando assim a realidade virtual pervasiva que o jogo específico usa.

Nove dos doze jogadores conseguiram completar a missão de demonstração do jogo estabelecida, que consistiu em disparar nos inimigos e proteger a entrada da casa. Dois jogadores disseram que não conseguiram completar o jogo devido à jogabilidade difícil do sistema de imersão. Um jogador sentiu tonturas ao usar o dispositivo Oculus Rift e não terminou o jogo. De acordo com os jogadores, o estágio de demonstração do jogo foi consistente (ou seja, movendo-se no mundo virtual combinado com o movimento no ambiente físico), o que permitiu a liberdade de atuação. No entanto, os jogadores queixaram-se de que carregar a mochila que continha o *notebook*, o que tornou o jogo um pouco desconfortável. Muitos jogadores sugeriram incluir no demonstrativo outros personagens virtuais interpretados por jogadores reais. Apesar dos problemas mínimos encontrados, o protótipo proposto permitiu avaliar alguns dos requisitos presentes neste teste. O protótipo permitiu também que os jogadores se movessem livremente em um cenário de realidade virtual pervasiva com pequenos erros de precisão, considerando as limitações impostas por elementos físicos.

6.2.1 ANÁLISE DOS REQUISITOS ENCONTRADOS NO PROTÓTIPO DE DEMONSTRAÇÃO DO JOGO

6.2.1.1 VIRTUALIDADE

No que diz respeito à geração do mundo virtual (VWG), o protótipo usa o paradigma hVWG (Seção 4.1.1). O *hardware* de rastreamento consiste em um computador portátil e um dispositivo Oculus Rift equipado com duas câmeras regulares (uma para cada olho), que foram modificadas para capturar apenas luz infravermelha. A sala física está equipada com vários marcadores infravermelhos para auxiliar o dispositivo no processo de rastreamento. Na demonstração, a geração do mundo virtual exige uma etapa de pré-processamento. Nessa etapa, um usuário (não jogador) caminha no ambiente físico que usa o *hardware* de rastreamento para verificar todos os marcadores infravermelhos fixados nas paredes da sala. O sistema usa essas informações para criar a primeira versão do mundo 3D. Mais tarde, um *designer* ajusta este modelo 3D manualmente. Considerando a apresentação de conteúdo virtual (VCP), a demonstração fornece informações apenas através do HMD e fones de ouvido. O jogador não interage com dispositivos físicos e a demonstração não usa dispositivos de ambiente.

Considerando a autonomia de simulação (SA), a aplicação apresenta pouca autonomia porque requer um ambiente dedicado equipado com marcadores infravermelhos e também requer um passo de pré-processamento para mapear o sistema físico para um mundo virtual. No momento em que o jogador entra no ambiente, um pesquisador acompanha o jogador para evitar acidentes (ou seja, que um jogador bata na parede inadvertidamente).

6.2.1.2 SOCIALIDADE

O requisito de socialidade não se aplica ao protótipo, pois este proporciona uma experiência para um único jogador. Além disso, esse jogador não interage com outros avatares digitais. Em relação às preocupações éticas, planejamos criar um plano de avaliação de como essas experiências podem afetar os jogadores quando testamos essa aplicação com um público mais amplo. No que diz respeito à segurança, foram realizados testes preliminares e apenas um jogador (de doze) sofreu efeitos adversos, como dores de cabeça e desorientação. Finalmente, à medida que os usuários foram monitorados enquanto estavam envolvidos na simulação, não

havia possibilidade dos não usuários entrarem de repente na fase de simulação, o que significa que o requisito de envolvimento não participante não se aplica.

6.2.1.3 COMUNICABILIDADE

Considerando a comunicação de estágio de conectividade e simulação, o protótipo usa um dispositivo de ambiente (um aquecedor) que está conectado a um computador dedicado através do Wi-Fi (Figura 27). Este computador é responsável por operar esses dispositivos quando o jogador está mais próximo deles. Esses dispositivos usam sensores de proximidade para detectar o jogador. O dispositivo de ambiente também se comunica com o equipamento do jogador (ou seja, o *laptop*) através do Wi-Fi. O aquecedor é um objeto *proxy* para uma lareira no mundo virtual. O aquecedor interage com o equipamento do jogador, influenciando a aparência do mundo virtual.

6.2.1.4 INTERAÇÃO

O jogador usa marcadores infravermelhos em seus braços para que a aplicação possa acompanhá-los. Depois que a aplicação rastreia os braços, o protótipo de demonstração do jogo torna os braços virtuais de acordo com a orientação e posição dos braços do jogador. A aplicação usa uma interação tangível - o jogador manipula um marcador inteligente como arma. Para disparar contra um alienígena, o jogador aponta o marcador inteligente para o personagem virtual desejado e pressiona um botão no marcador inteligente. Foi observado que os jogadores desfrutaram desse mecanismo de interação. No entanto, os jogadores reclamaram que não conseguiram ver o *avatar* movendo seus dedos (ou seja, os jogadores moveram seus dedos reais, mas essa ação não foi reproduzida no mundo virtual).

6.2.1.5 RESILIÊNCIA

O protótipo não implementa a política de manuseio de incerteza. No entanto, o equipamento do jogador se comunica com objetos inteligentes através de módulos RF (a opção mais rápida). Caso esta opção não funcione adequadamente, tenta-se conectar através de Wi-

Fi; caso também falhe, tenta-se *Bluetooth*. Considerando a estimulação da atividade de simulação, devido à velocidade do processo de rastreamento e à proximidade do marcador inteligente, os usuários não experimentaram atrasos entre seus movimentos reais e armas virtuais. No entanto, o protótipo ainda apresenta problemas caso o sistema não consiga capturar os marcadores infravermelhos do equipamento (por exemplo, quando um jogador cruza seus braços, causando uma oclusão). Considerando a consistência da realidade mista, os erros de rastreamento acumulam-se à medida que o jogador se move no ambiente porque o protótipo usa a posição relativa de alguns marcadores no processo de rastreamento. Para resolver este problema, o ambiente contém marcadores especiais que possuem uma posição física absoluta, utilizados pelo rastreamento para corrigir as informações.

6.2.1.6 CIÊNCIA DE CONTEXTO

Considerando a capacidade de adaptação da atividade de simulação, o protótipo aplica esse requisito integrando sensores de temperatura para mudar as cores do mundo virtual de acordo com a temperatura física (Figura 27).

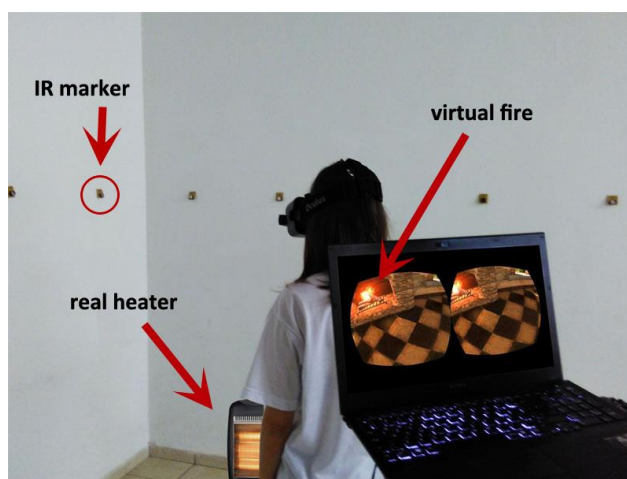


Figura 27 – Um jogador na sala de teste com um aquecedor no chão e sua correspondente visualização HMD.

Na Figura 27, o *notebook* mostra o que o jogador vê através do HMD. À esquerda da mão do jogador, há um dispositivo de ambiente (um aquecedor) que se torna uma lareira no mundo virtual. Nesta aplicação não foi explorando a psicofísica da percepção térmica, o que impõe muitas questões envolvendo percepção à distância e diferenças entre um aquecedor e um fogo

real. Em vez disso, o principal objetivo é analisar o papel das características pervasivas no *design* das aplicações. Neste exemplo, foi anexado um sensor de temperatura ao HMD do jogador e um sensor de proximidade ao aquecedor. O protótipo usa o sensor de proximidade para aumentar a temperatura do aquecedor quando o jogador se aproxima e diminuir a temperatura quando o jogador se afasta. Utiliza-se o sensor de temperatura no HMD do jogador para modificar a animação da lareira: se a temperatura for maior, a lareira virtual ficará maior.

CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES

Esta tese assumiu como principal objetivo e contribuição propor uma pesquisa exploratória com o conceito de realidade virtual pervasiva, apresentando uma definição e um levantamento de requisitos para tais aplicações. Em seguida, procurou-se explorar e detalhar os resultados apresentados de quatro trabalhos anteriores (Valente, Clua, *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2016; Valente *et al.*, 2016b; Valente *et al.*, 2018), os quais foram fundamentais para o desenvolvimento do conceito de realidade virtual pervasiva e de suas características.

Procurou-se em primeiro lugar, esclarecer o conceito e defini-lo como uma nova linha no espectro da realidade virtual, com base em *proxy elements* e ciência de contexto e a dominância de um sentido (geralmente a visão). A solução procurou manter o alcance geral do termo "realidade virtual", considerando-o como um caso prototípico ideal em uma vasta coleção de situações. Nesse caso, o termo "pervasiva" capturou a ideia de elementos do "mundo real" que permeiam (ou se espalham) através do mundo "virtual" como objetos. A literatura refere-se a esta nova situação como virtualidade real (Void, 2016), hiper-realidade (Artanim, I., 2015a), ou mesmo realidade híbrida (Kimmorley, 2017), porém não apresentam definições precisas e diretrizes para auxiliar o projeto conceitual deste novo tipo de aplicação.

Apesar de existir uma correlação entre os conceitos, a realidade virtual pervasiva ficou definida fundamentalmente diferente da computação pervasiva, uma vez que neste não há a visualização de objetos do mundo real.

O Capítulo 3 propôs uma extensão da taxonomia de realidade mista, apresentada por (Milgram e Kishino, 1994). Para tal propusemos identificar a primeira situação como "realidade virtual pervasiva" e a situação posterior como "virtualidade ubíqua". Estas situações representam uma melhor fusão da realidade e da virtualidade, que vai além de uma simples projeção visual mapeada. Embora o advento da tecnologia e o baixo custo dos produtos, tenham tornado a Realidade Virtual acessível, acreditamos ainda haver uma lacuna grande na incorporação de todos os sentidos humanos para efetivamente haver um cenário de realidade mista completo. Uma solução proposta em nosso trabalho consiste na resolução de conflitos sensoriais, considerando o domínio de um sentido sobre os outros (normalmente o sentido da visão). Cada vez que se adiciona um novo sentido, cria-se outro contínuo de realidade mista (aprimorado) conectando os mundos real e virtual.

Ainda no Capítulo 3 foi apresentado um panorama atual em realidade virtual pervasiva com objetivo de identificar atualmente os trabalhos apresentados, bem como uma evolução dos

conceitos propostos neste trabalho. Dentre os trabalhos apresentados destacaram-se (Void, 2016a) com o conceito de hiper-realidade, (Simeone *et al.*, 2015b) com o conceito de realidade substitutiva, (Artanim, 2015) com conceito de realidade virtual, definindo assim a realidade mista baseada na estrutura do mundo real, onde os jogadores se movem e caminham. Nenhum dos trabalhos anteriores apresentam uma definição formal, uma taxonomia adequada ou requisitos de qualidade para seus paradigmas de ambiente de realidade mista.

Embora (Simeone, 2015; Simeone *et al.*, 2015b) e (Simeone e Velloso, 2015) estejam entre os poucos trabalhos até o presente momento, o trabalho dos mesmos exploram orientações de um único requisito para lidar com questões relacionadas à realidade virtual pervasiva.

No Capítulo 4 foram apresentados um mapa conceitual com dois níveis de requisitos, sendo o primeiro o nível subdividido em sub-aspectos (características) adicionais, que representam questões mais específicas. Esses requisitos de qualidade estão intimamente relacionados com cada aspecto chave de uma aplicação de realidade virtual pervasiva.

Cada um dos requisitos apresentados pode ser utilizado em conjunto ou separado para aplicações de realidade virtual pervasiva, tornando a aplicação mais intuitiva e imersiva. Considerando que aplicações de realidade virtual pervasiva exigem um ambiente de realidade dedicada, o que demanda espaço, tempo, pessoal e dinheiro, nem todas os requisitos e características foram possíveis de serem validados na prática. Neste trabalho também propomos uma arquitetura para criar soluções de realidade virtual pervasiva, conforme detalhado no capítulo 5. Os principais elementos elencados para a arquitetura do sistema foram: *sistema*, *redes* e *motor de jogos*. O sistema foi desenvolvido contemplando os módulos *processamento gráfico* e *interação*, responsáveis pela união dos objetos do mundo real com os objetos no mundo virtual. As bibliotecas e classes integrantes do sistema foram desenvolvidas utilizando a linguagem de programação C#, devido à sua ligação nativa com o motor de jogos *Unity*. O C++ foi escolhido em função de seu uso na implementação dos componentes físicos e hápticos existentes em ambiente real de virtualidade pervasiva. O *sistema* foi desenvolvido sobre os seguintes módulos: O módulo *processamento gráfico*, que é responsável pela criação dos elementos gráficos utilizados para a construção do ambiente virtual e o *módulo de interação*, responsável pelo gerenciamento de rastreamento e rastreamento do usuário no ambiente real, bem como eventos utilizados para a comunicação com os objetos *proxy* no ambiente real que envolvam mundos táteis. Foram efetuadas validações conceituais com objetivo de verificar o funcionamento dos módulos, bem como os algoritmos implementados. Foram feitas validações conceituais dos requisitos de comunicabilidade, virtualidade, e espacialidade utilizando as

classes implementadas de nossa biblioteca de gerenciamento de rastreamento, juntamente com as bibliotecas de interface e gerenciamento espacial.

Testes de captura de movimentos utilizando um sistema de *motion capture* pelo ambiente desenvolvidos no Centrul International de Cercetare si Educatie in Tehnologii Inovativ Creative – CINETic na Romênia (Silva, 2017) se mostraram satisfatórios, com o sistema de captura de movimentos. A aplicação permitiu transmitir a posição do usuário no *game stage* definido. O servidor utilizado para o sistema de captura de movimentos suportou os conceitos de rede para dispositivos passivos da biblioteca de gerenciamento de rastreamento e gerenciamento espacial, bem como o protocolo de comunicação websocket-sharp para o motor de jogo da Unity sobre a linguagem C#. Requisito de segurança proposto para aplicação cumpriu seu papel de não permitir colisão do jogador com as paredes do ambiente apesar de não existir obstáculos físicos (pilastras, portas) em meio ao ambiente. O sistema de gerenciamento espacial implementado na biblioteca permitiu que o jogador percorresse uma distância maior em um ambiente relativamente pequeno. É importante salientar que estes testes foram executados com o usuário andando e não correndo.

A parte gráfica implementada na biblioteca de interface gráfica e áudio, por serem estáticas, não influenciaram na velocidade da aplicação e na estrutura de gerenciamento da rede. Sugere-se como trabalhos futuros testes de balanceamento de carga como requisito de conectividade e apresentação do conteúdo virtual para testar o quanto a interface gráfica dinâmica e estática influencia na velocidade da aplicação. Uma vez que, a aplicação é executada na máquina cliente, sugere-se como trabalhos futuros testes utilizando streaming para a transmissão da interface gráfica totalmente gerada pelo servidor, permitindo que requisitos de interface gráfica seja reproduzida por máquinas com maior poder de processamento e sejam enviadas a máquina cliente. Este requisito, por sua vez, exige como trabalhos futuros testes de latência e performance de rede, tanto para dispositivos passivos quanto para dispositivos ativos, de forma a medir com precisão o tempo de resposta entre os dispositivos utilizados pelo usuário e o jogo ou aplicativo reproduzido. Sugere-se também como trabalhos futuros que testes de estabilidade e taxa de transferência de dados da rede física sejam executados incluindo dispositivos vestíveis e objetos proxys de forma a medir com precisão a taxa máxima de produção ou taxa máxima de processamento suportado pelos nós da rede.

Não foram encontradas inconsistências que pudessem afetar negativamente a experiência de simulação. Sendo assim, a estimulação da atividade de simulação se manteve preservada. Uma vez que nem todos os requisitos foram possíveis de serem testados, sugere-se como trabalhos futuros a implementação e testes de uma aplicação que possa conter mais

requisitos e características propostos no trabalho a fim de testar inconsistência que possam afetar negativamente a experiência da simulação. Em especial, acreditamos que sejam necessários testes futuros, com usuários correndo ou andando em ritmo acelerado. É possível por exemplo que a atividade de simulação possa ser prejudicada caso a tecnologia de rastreamento do usuário exija um tempo de resposta imediato de resposta para atividades que exijam estimulação mais rápida.

Aplicações que utilizam marcadores infravermelho, tais como esferas, prejudicam a simulação, quer seja pelo tempo necessário para colocar os marcadores e calibrar o sistema, quer seja pela oclusão e perda de marcadores no estágio da simulação. Neste sentido, não foi possível testar a aplicação para multiusuários. Sugere-se como trabalhos futuros testes com a utilização de pequenos marcadores infravermelhos embutidos na roupa utilizada para sistemas de captura, uma vez que, devido ao seu tamanho reduzido estima-se que pode diminuir ou minimizar os problemas encontrados com marcadores esféricos. Sugere-se também como trabalhos futuros, testes utilizando o sistema com multiusuários. Acredita-se que um elevado número de participantes e a alta frequência dos eventos podem gerar atrasos de sincronização, frequência de atualização dos dispositivos de visualização e uma baixa manutenção da consistência.

No Capítulo 6 apresentamos a implementação de uma aplicação de navegação indoor de baixo custo utilizando câmeras infravermelhas adaptadas baseado no sistema proposto. A aplicação executada com um grupo de doze jogadores. A arquitetura proposta forneceu soluções quanto aos requisitos de comunicação, bem como a utilização de ciência de contexto proposto nos requisitos de interação. A sensação de imersão foi mantida pelos jogadores e permitiu que os mesmos pudessem andar pelo ambiente com segurança, garantindo assim credibilidade ao requisito proposto.

A aplicação permitiu verificar que o requisito de capacidade de adaptação da atividade de simulação através do uso de sensores e dispositivos que foram capazes de alterar a condição da simulação real/virtual modificando a dinâmica da animação, em detrimento da temperatura de um aquecedor implementado no teste. A aplicação se mostrou satisfatória como prova de demonstração de consistência da realidade mista referente ao acúmulo de erros provocados pela somatória de posições relativas do jogador no ambiente virtual. Os marcadores especiais de posicionamento absoluto propostos para a correção do posicionamento funcionaram de forma a corrigir ou diminuir os erros encontrados no rastreamento pelo sistema. Assim como no sistema de captura de movimentos utilizando equipamentos de *motion capture*, os problemas de oclusão de marcadores também foram encontrados nesta aplicação. Devido à complexidade

da aplicação e a falta de tempo não foram feitos testes dos requisitos de socialidade, tais como presença social. Acreditamos que atingimos os objetivos principais do trabalho criando requisitos, características e estruturas para que *designer* de jogos possam no futuro tomar como base para o desenvolvimento de aplicações do tipo realidade virtual pervasiva, bem como entender a taxonomia proposta inicialmente por (Milgram, 1999) e estendida por nós.

REFERÊNCIAS

AMBIERA. irrKlang. <https://www.ambiera.com/index.html>, 2018.

ARTANIM. **Real Virtuality: Perspectives offered by the combination of Virtual Reality headsets and Motion Capture**. Artanim Interactive 2015/08/23/, p.8. 2015

ARTANIM, I. **Perspectives offered by the combination of Virtual Reality headsets and Motion Capture**. Meyrin - GENEVA: Grand-Puits CH-1217 Meyrin 2015a.

_____. **Real Virtuality** 2015b.

AZMANDIAN, M. et al. Haptic Retargeting: Dynamic Repurposing of Passive Haptics for Enhanced Virtual Reality Experiences. 2016, ACM, 2016. p.1968-1979.

BBC. **Warning signs for Seoul's 'smartphone zombies'**. BBC News 2016.

_____. **Pavement lights guide 'smartphone zombies'**. BBC News 2017.

BELL, M. et al. Interweaving mobile games with everyday life. **Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems**, p. 417-426, 2006 2006. Disponível em: < <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1124835> >.

BENFORD, S. et al. Can you see me now? **ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)**, v. 13, p. 100-133, 2006/03// 2006. ISSN 1073-0516.

BROLL, G.; BENFORD, S. Seamful Design for Location-Based Mobile Games. In: KISHINO, F.; KITAMURA, Y., *et al* (Ed.). **Entertainment Computing - ICEC 2005**: Springer Berlin / Heidelberg, v.3711, 2005. p.155-166. (Lecture Notes in Computer Science).

BURLOIU, G. et al. **Structured interaction in the SoundThimble real-time gesture sonification framework**. Proceedings of the 12th International Audio Mostly Conference on Augmented and Participatory Sound and Music Experiences. London, United Kingdom: ACM: 1-4 p. 2017.

CALLELE, D.; NEUFELD, E.; SCHNEIDER, K. Requirements engineering and the creative process in the video game industry. 13th IEEE International Conference on Requirements Engineering (RE'05), 2005, 29 Aug.-2 Sept. 2005. p.240-250.

CARNEGIE, K.; RHEE, T. Reducing Visual Discomfort with HMDs Using Dynamic Depth of Field. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 35, n. 5, p. 34-41, 2015/09// 2015. ISSN 0272-1716. Disponível em: < <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7274431/?reload=true> >.

CHAGUÉ, S.; CHARBONNIER, C. Real Virtuality: A Multi-user Immersive Platform Connecting Real and Virtual Worlds. 2016, ACM, 2016. p.4:1-4:3.

CHENG, L.-P. et al. TurkDeck: Physical Virtual Reality Based on People. 2015, ACM, 2015/11//. p.417-426.

CHEOK, A. D. et al. Human Pacman: a mobile, wide-area entertainment system based on physical, social, and ubiquitous computing. **Personal and Ubiquitous Computing**, v. 8, n. 2, p. 71-81, 2004/05/01 2004. ISSN 1617-4917. Disponível em: < <https://doi.org/10.1007/s00779-004-0267-x> >.

CHEOK, A. D. et al. Touch-Space: Mixed Reality Game Space Based on Ubiquitous, Tangible, and Social Computing. **Personal and Ubiquitous Computing**, v. 6, n. 5, p. 430-442, 2002/12/01 2002. ISSN 1617-4909. Disponível em: < <https://doi.org/10.1007/s007790200047> >.

CSAPÓ, Á. et al. A survey of assistive technologies and applications for blind users on mobile platforms: a review and foundation for research. **Journal on Multimodal User Interfaces**, v. 9, n. 4, p. 275-286, 2015/12/01/ 2015. ISSN 1783-7677, 1783-8738. Disponível em: < <https://link.springer.com/article/10.1007/s12193-015-0182-7> >. Acesso em: 2017/06/04/16:03:55.

DEY, A. Understanding and using context. **Pers Ubiquitous Comput**, v. 5, p. 4–7, 2001.

DRAPER, S. W. Analysing fun as a candidate software requirement. **Personal Technologies**, v. 3, n. 3, p. 117-122, 1999. ISSN 1617-4917. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/BF01305336> >.

EPICGAMES. Unreal Engine 2004. Disponível em: < <https://www.unrealengine.com/en-US/features> >. Acesso em: March, 19.

FACER, K. et al. Savannah: mobile gaming and learning? **Journal of Computer Assisted Learning**, v. 20, n. 6, p. 399-409, 2004. ISSN 1365-2729. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2729.2004.00105.x> >.

FISHKIN, K. P. A taxonomy for and analysis of tangible interfaces. **Personal Ubiquitous Comput.**, v. 8, n. 5, p. 347-358, 2004. ISSN 1617-4909.

GAMING, H. Grid busters (1991). 2013
2015/05/07/14:50:07 2013. Disponível em: < <http://www.arcade-history.com/?n=grid-busters&page=detail&id=12498> >.

_____. Dactyl Nightmare (1991). 2014
2015/05/07/14:48:35 2014. Disponível em: < <http://www.arcade-history.com/?n=dactyl-nightmare&page=detail&id=12493> >.

GRZEGORZEK, M. et al. **Time-of-Flight and depth imaging : Sensors, algorithms, and applications : Dagstuhl 2012 Seminar on Time-of-Flight Imaging and GCPR 2013 Workshop on Imaging New Modalities**. 1 online resource (x, 317 pages) ISBN 3642449646 (electronic bk.)
9783642449642 (electronic bk.)
0302-9743 ;. Disponível em: < <http://rave.ohiolink.edu/ebooks/ebc/9783642449642>
<http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-44964-2>

<http://proxy.ohiolink.edu:9099/login?url=http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-44964-2> >.

GUO, H. et al. TeMPS: A Conceptual Framework for Pervasive and Social Games. 2010, IEEE Computer Society, 2010. p.31-37.

HINCKLEY, K. et al. Passive Real-world Interface Props for Neurosurgical Visualization. 1994, ACM, 1994. p.452-458.

HOFFMAN, H. G. Physically touching virtual objects using tactile augmentation enhances the realism of virtual environments. Proceedings. IEEE 1998 Virtual Reality Annual International Symposium (Cat. No.98CB36180), 1998, 1998. p.59-63.

INITIATIVES, C. SoundThimble - a high resolution gesture sonification framework. <https://vimeo.com/222157124>, 2018. Acesso em: 6th, May.

INSKO, B. E. **Passive Haptics Significantly Enhances Virtual Environments**. 2001. PhD Thesis The University of North Carolina at Chapel Hill, Chapel Hill.

ISHII, H.; ULLMER, B. Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. **Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems**, p. 234-241, 1997 1997.

KAAZING'S, I. websocket.org. <https://www.websocket.org/about.html>, 2018. Acesso em: April, 2.

KENZAN. Real Virtuality. 2015
2015/07/09/16:05:17 2015. Disponível em: < http://www.kenzan.ch/?avada_portfolio=real-virtuality >.

KIM, J.; JUN, H. Vision-based location positioning using augmented reality for indoor navigation. **IEEE Transactions on Consumer Electronics**, v. 54, n. 3, p. 954-962, 2008/08// 2008. ISSN 0098-3063. Disponível em: < http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=4637573&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D4637573 >.

KIM, S.; LEE, Y.; WOO, W. How to Realize Ubiquitous VR? , 2006, 2006. p.493-504.

KIMMORLEY, S. Here's the amazing new VR and 3D printing tech NASA uses to prepare its astronauts for space. Business Insider Australia, 2017. Disponível em: < <https://www.businessinsider.com.au/heres-the-amazing-new-vr-and-3d-printing-tech-nasa-uses-to-prepare-its-astronauts-for-space-2017-3> >. Acesso em: 9 February 2018.

KING, G.; KRZYWINSKA, T. **Tomb Raiders and Space Invaders: Videogame Forms and Contexts**. London ; New York : New York: I. B. Tauris, 2006. 272 ISBN 978-1-85043-814-4. Disponível em: < <http://www.amazon.com/Tomb-Raiders-Space-Invaders-Videogame/dp/1850438145> >.

KLATZKY, R. L. et al. Spatial Updating of Self-Position and Orientation During Real, Imagined, and Virtual Locomotion. **Psychological Science**, v. 9, n. 4, p. 293-298, 1998/07/01/1998. ISSN 0956-7976. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/1467-9280.00058> >.

KLOPFER, E.; SQUIRE, K.; JENKINS, H. **Environmental Detectives: PDAs as a Window into a Virtual Simulated World**. Proceedings IEEE International Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education: IEEE Computer Society: 95-98 p. 2002.

KOHLI, L.; WHITTON, M. C.; BROOKS, F. P. Redirected touching: The effect of warping space on task performance. 2012 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI), 2012, 2012/03//. p.105-112.

LAHAV, O. et al. A virtual environment for people who are blind – a usability study. **Journal of Assistive Technologies**, v. 6, n. 1, p. 38-52, 2012/03/16/ 2012. ISSN 1754-9450. Disponível em: < <http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/17549451211214346> >.

LEAP MOTION, I. Leap Motion Thecnology. <https://www.leapmotion.com/>, 2018. Acesso em: June, 7th.

LINDEMAN, R. W.; SIBERT, J. L.; HAHN, J. K. Hand-held windows: towards effective 2D interaction in immersive virtual environments. Proceedings IEEE Virtual Reality (Cat. No. 99CB36316), 1999, 1999/03//. p.205-212.

LOPES, P. et al. Providing Haptics to Walls & Heavy Objects in Virtual Reality by Means of Electrical Muscle Stimulation. 2017, ACM, 2017. p.1471-1482.

MADARY, M.; METZINGER, T. K. Real Virtuality: A Code of Ethical Conduct. Recommendations for Good Scientific Practice and the Consumers of VR-Technology. **Frontiers in Robotics and AI**, v. 3, 2016 2016. ISSN 2296-9144. Disponível em: < <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/frobt.2016.00003/abstract> >. Acesso em: 2017/03/05/22:18:35.

MARTEL, E.; MULDER, K. Controlling VR games: control schemes and the player experience. **Entertainment Computing**, v. 21, p. 19-31, 2017/06// 2017. ISSN 1875-9521. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875952117300356> >. Acesso em: 2017/05/31/18:19:38.

MARTINDALE, J. The Void will use reality to transport you to a virtual world. **Digital Trends**, <http://www.digitaltrends.com/computing/how-the-void-plans-to-put-reality-back-in-virtual-reality/>, 2015. Acesso em: 24th April

MATSUO, M. et al. ShadowRine: Accessible game for blind users, and accessible action RPG for visually impaired gamers. 2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2016, 2016/10//. p.002826-002827.

MCGONIGAL, J. **This might be a game: ubiquitous play and performance at the turn of the twenty-first century**. 2006. PhD Thesis University of California, Berkeley, Berkeley, CA, USA.

METZ, R. Inside the First VR Theme Park. **MIT Technology Review**, 2015.

MILGRAM, P., COLQUHOUN JR. **A taxonomy of real and virtual world display integration.** p.1-26. 1999

MILGRAM, P.; COLQUHOUN JR, H. A taxonomy of real and virtual world display integration. In: OHTA, Y. e TAMURA, H. (Ed.). **Mixed Reality.** Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1999. p.1-26. ISBN 978-3-642-87514-4 978-3-642-87512-0.

MILGRAM, P.; KISHINO, F. A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. 1994/12/2016/05/16/13:24:55 1994. Disponível em: < http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=e77-d_12_1321 >.

MONTOLA, M.; STENROS, J.; WÆRN, A. **Pervasive Games: Theory and Design.** Morgan Kaufmann, 2009. 337 ISBN 978-0-12-374853-9. Disponível em: < <http://books.google.com/books?id=Yk4CCx6UyIIC> >.

NEVELSTEEN, K. J. L. **A Survey of Characteristic Engine Features for Technology-Sustained Pervasive Games.** Cham: Springer International Publishing, 2015. ISBN 978-3-319-17631-4 978-3-319-17632-1. Disponível em: < <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-17632-1> >. Acesso em: 2016/05/17/17:12:58.

NIEUWDORP, E. The pervasive discourse: an analysis. **Computers in Entertainment (CIE)**, v. 5, n. 2, p. 13, 2007/04// 2007. ISSN 1544-3574. Disponível em: < <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1279540.1279553> >.

NUNES, A. L. P.; RADICCHI, A. O.; BOTEAGA, L. C. **Interfaces Tangíveis: Conceitos, Arquiteturas, Ferramentas e Aplicações.** Pré-Simpósio SVR 2011. SVR. Uberlândia - Minas Gerais. Capítulo 2: 26-44 p. 2011.

OBAIDAT, M. S.; DENKO, M.; WOUNGANG, I. **Pervasive Computing and Networking.** 2011. ISBN 978-0-470-74772-8.

OCULUS, V. R. Oculus Tuscany Demo. 2013
2015/09/11/18:16:03 2013. Disponível em: < <https://share.oculus.com/app/oculus-tuscany-demo> >.

OPENCV. Camera calibration With OpenCV — OpenCV 2.4.11.0 documentation. 2015
2015/07/26/14:52:23 2015. Disponível em: < http://docs.opencv.org/doc/tutorials/calib3d/camera_calibration/camera_calibration.html >.

OXFORD. Vicon Motion Systems. <https://www.vicon.com/>, 2018. Acesso em: 07 July.

PHARR, M.; JAKOB, W.; HUMPHREYS, G. **Physically Based Rendering: From Theory to Implementation.** Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2016. 1266 ISBN 0128006455, 9780128006450.

PIEKARSKI, W.; THOMAS, B. ARQuake: The Outdoor Augmented Reality Gaming System. **Commun. ACM**, v. 45, n. 1, p. 36-38, 2002/01// 2002. ISSN 0001-0782. Disponível em: < <http://doi.acm.org/10.1145/502269.502291> >. Acesso em: 2015/05/07/15:40:03.

RAZZAQUE, S.; KOHN, Z.; WHITTON, M. C. Redirected walking. 2001, Citeseer, 2001. p.105-106.

ROBERTSON, A.; POPPER, B. Dream Park - From giant robots to haptic spiders, the real future of virtual worlds. **The Verge**, <http://www.theverge.com/2016/7/1/12058614/vr-theme-parks-disney-six-flags-the-void-ghostbusters-virtual-reality>, 2017. Acesso em: 24th April.

SARBOLANDI, H.; LEFLOCH, D.; KOLB, A. Kinect range sensing: Structured-light versus Time-of-Flight Kinect. **Computer Vision and Image Understanding**, v. 139, n. Supplement C, p. 1-20, 2015/10/01/ 2015. ISSN 1077-3142. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1077314215001071> >.

SCOTT, G. F. Myo gesture-control arm band aims to go everywhere a keyboard and mouse can't. <http://www.canadianbusiness.com/technology-news/thalmic-myo-gesture-control-armband/>, 2014. Acesso em: March, 2.

SHAPIRA, L.; FREEDMAN, D. Reality Skins: Creating Immersive and Tactile Virtual Environments. 2016 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 2016, 2016/09//. p.115-124.

SILVA, A. R. Centrul International de Cercetare si Educatie in Tehnologii Inovativ Creative – CINETic. <http://cinetic.arts.ro/>, 2017.

SILVA, A. R. et al. An indoor navigation system for live-action virtual reality games. SBGames 2015, 2015, SBC, 2015/11//. p.84-93.

_____. First steps towards Live-action Virtual Reality Games **SBC Journal on Interactive Systems**, v. 7, p. 14, 2016. ISSN 2236-3297.

SILVA, A. R. et al. An Indoor Navigation System for Live-Action Virtual Reality Games. 2015 14th Brazilian Symposium on Computer Games and Digital Entertainment (SBGames), 2015, 11-13 Nov. 2015. p.1-10.

SIMEONE, A. L. Substitutional reality: Towards a research agenda. 2015 IEEE 1st Workshop on Everyday Virtual Reality (WEVR), 2015, 2015/03//. p.19-22.

SIMEONE, A. L.; MAVRIDOU, I.; POWELL, W. Altering User Movement Behaviour in Virtual Environments. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 23, n. 4, p. 1312-1321, 2017/04// 2017. ISSN 1077-2626. Disponível em: < <http://ieeexplore.ieee.org/document/7835276/> >. Acesso em: 2017/03/23/13:44:12.

SIMEONE, A. L.; VELLOSO, E. Substitutional Reality: Bringing Virtual Reality Home. **XRDS**, v. 22, n. 1, p. 24-29, 2015/11// 2015. ISSN 1528-4972. Disponível em: < <http://doi.acm.org/10.1145/2810044> >. Acesso em: 2017/03/17/19:16:06.

SIMEONE, A. L.; VELLOSO, E.; GELLERSEN, H. Substitutional Reality: Using the Physical Environment to Design Virtual Reality Experiences. 2015a, ACM, 2015. p.3307-3316.

_____. **Substitutional Reality: Using the Physical Environment to Design Virtual Reality Experiences.** Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems. Seoul, Republic of Korea: ACM: 3307-3316 p. 2015b.

SOUMAN, J. et al. Walking straight into circles. **Current Biology**, 2009.

SOUSA, M. et al. **Creepy Tracker Toolkit for Context-aware Interfaces.** Proceedings of the 2017 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces. Brighton, United Kingdom: ACM: 191-200 p. 2017.

SPIELBERG, S. **A.I. Artificial Intelligence**: Warner Bros. 2001.

SRA, M. Asymmetric Design Approach and Collision Avoidance Techniques For Room-scale Multiplayer Virtual Reality. 2016, ACM, 2016. p.29-32.

SRA, M. et al. Procedurally Generated Virtual Reality from 3D Reconstructed Physical Space. 2016, ACM, 2016. p.191-200.

STEINICKE, F. et al. Estimation of Detection Thresholds for Redirected Walking Techniques. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 16, n. 1, p. 17-27, 2010/01// 2010. ISSN 1077-2626. Disponível em: <
http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5072212&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D5072212 >.

STEINICKE, F. et al. The Holodeck Construction Manual. 2008, ACM, 2008. p.97:1-97:3.

STOKES, D.; BIGGS, S. The dominance of the visual. In: STOKES, D.; MATTHEN, M., *et al* (Ed.). **Perception and Its Modalities**: Oxford University Press, 2014. p.350-378. ISBN 978-0-19-983279-8.

SUN, Q.; WEI, L.-Y.; KAUFMAN, A. Mapping Virtual and Physical Reality. **ACM Trans. Graph.**, v. 35, n. 4, p. 64:1-64:12, 2016/07// 2016. ISSN 0730-0301. Disponível em: <
<http://doi.acm.org/10.1145/2897824.2925883> >. Acesso em: 2017/03/17/19:53:31.

SZULBORSKI, D. **This Is Not A Game: A Guide to Alternate Reality Gaming**. 1st. Lulu.com, 2005. 395 ISBN 978-1-4116-2595-2.

_____. The Beast. In: BORRIES, F.; WALZ, S. P., *et al* (Ed.). **Space Time Play**: Birkhäuser Basel, 2007. p.228-229. ISBN 978-3-7643-8415-9.

THUILLIER, J. et al. **VRTracker** 2017.

UNITYTECHNOLOGIES. Unity 3D. <https://unity3d.com>, 2018. Acesso em: March, 19.

USCUNIVERSITY. The Redirected Walking Toolkit. **MXR**, <http://projects.ict.usc.edu/mxr/rdwt/>, 2018.

VALENTE, L. et al. **Live-action virtual reality games**. Departamento de Informática, PUC-Rio. Rio de Janeiro: 2015/07//, p.15. 2015. (MCC03/15)

VALENTE, L.; FEIJÓ, B. Extending Use Cases to Support Activity Design in Pervasive Mobile Games. 2014, IEEE Computer Society, 2014. p.193-201.

VALENTE, L.; FEIJÓ, B.; LEITE, J. C. S. D. P. Mapping quality requirements for pervasive mobile games. **Requirements Engineering**, p. 1-29, 2015/09/14/ 2015. ISSN 0947-3602, 1432-010X. Disponível em: < <http://link.springer.com/article/10.1007/s00766-015-0238-y> <http://link.springer.com/article/10.1007/s00766-015-0238-y#page-1> >. Acesso em: 2016/02/07/00:24:05.

VALENTE, L. et al. Pervasive virtuality in digital entertainment applications and its quality requirements. v. 26, p. 139-152, 2018. Disponível em: < <https://app.dimensions.ai/details/publication/pub.1101244060> >. Acesso em: 2018/11/26.

VALENTE, L. et al. The Concept of Pervasive Virtuality and Its Application in Digital Entertainment Systems. In: WALLNER, G.;KRIGLSTEIN, S., *et al* (Ed.). **Entertainment Computing - ICEC 2016: 15th IFIP TC 14 International Conference, Vienna, Austria, September 28-30, 2016, Proceedings**. Cham: Springer International Publishing, 2016a. p.187-198. ISBN 978-3-319-46100-7.

_____. The Concept of Pervasive Virtuality and Its Application in Digital Entertainment Systems. International Conference on Entertainment Computing, 2016b, Springer, Cham, 2016/09/28/. p.187-198.

VALENTE, L.; SOUZA, C. S. D.; FEIJÓ, B. Turn off the graphics: designing non-visual interfaces for mobile phone games. **Journal of the Brazilian Computer Society**, v. 15, p. 45-58, 2009. ISSN 0104-6500. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-65002009000100005&nrm=iso >.

VÁZQUES, S. A. L. **Jogos em Ambientes Pervasivos**. 2009. 82 Dissertação (mestrado) Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul Porto Alegre, BR-RS, 2009.

VOID, T. Gaming Pods. 2015
2015/07/09/18:08:22 2015a. Disponível em: < <https://thevoid.com/#the-centers/2> >.

_____. The VOID. 2015
2015/07/09/16:01:52 2015b. Disponível em: < <https://thevoid.com/> >.

_____. **Hyper-Reality is taking Virtual Reality to the next level. #BLOG** 2016a.

_____. The vision of infinite dimensions. 2016
2015/07/09/16:01:52 2016b. Disponível em: < <https://thevoid.com/> >.

_____. The Void: Hyper-Reality is taking Virtual Reality to the next level
2016c. Disponível em: < <https://blog.thevoid.com/how-hyper-reality-takes-virtual-reality-to-the-next-level/> >. Acesso em: 26 jan 2017.

WEISER, M. The computer for the 21st century. **Sci Am**, p. 265:66–75, 1991.

WIKIPEDIA. **Virtuality (gaming)**. Wikipedia 2015.

WOLBERT, M.; EL ALI, A.; NACK, F. **CountMeIn: Evaluating social presence in a collaborative pervasive mobile game using NFC and touchscreen interaction**. 2014.

XIE, B. X. Head-Related Transfer Function and Virtual Auditory Display. **J. Ross Publishing**, v. Second Edition, July 23 2013.

YAO, S. N. Headphone-based immersive audio for virtual reality headsets. **IEEE Transactions on Consumer Electronics**, v. 63, n. 3, p. 300-308, 2017/08// 2017. ISSN 0098-3063. Disponível em: < <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8103379/?reload=true> >.

YUAN, Y. et al. Sound image externalization for headphone based real-time 3D audio. **Frontiers of Computer Science**, v. 11, n. 3, p. 419-428, 2017/06/01/ 2017. ISSN 2095-2228, 2095-2236. Disponível em: < <https://link.springer.com/article/10.1007/s11704-016-6182-2> >. Acesso em: 2018/01/22/12:55:21.

ZENNER, A.; KRÜGER, A. Shifty: A Weight-Shifting Dynamic Passive Haptic Proxy to Enhance Object Perception in Virtual Reality. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 23, n. 4, p. 1285-1294, 2017/04// 2017. ISSN 1077-2626. Disponível em: < <http://ieeexplore.ieee.org/document/7833030/#full-text-section> >.