



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE INFORMÁTICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA  
COMPUTAÇÃO

DANIELA FERNANDES DO NASCIMENTO

**O uso das tecnologias imersivas na  
telerreabilitação em exergames: um  
modelo de avaliação da presença virtual**

Goiânia  
2026



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE INFORMÁTICA

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

### 1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação     Tese     Outro\*: \_\_\_\_\_

\*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

### 2. Nome completo do autor

Daniela Fernandes do Nascimento

### 3. Título do trabalho

O uso das tecnologias imersivas na telerreabilitação em exergames: um modelo de avaliação da presença virtual

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento  SIM     NÃO<sup>1</sup>

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

**Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.**



Documento assinado eletronicamente por **Sergio Teixeira De Carvalho, Professor do Magistério Superior**, em 15/06/2026, às 18:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Daniela Fernandes Do Nascimento, Discente**, em 16/06/2026, às 14:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **6263427** e o código CRC **525C5E2F**.

Referência: Processo nº 23070.018280/2026-21

SEI nº 6263427

DANIELA FERNANDES DO NASCIMENTO

# **O uso das tecnologias imersivas na telerreabilitação em exergames: um modelo de avaliação da presença virtual**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, do Instituto de Informática da Universidade Federal de Goiás, como requisito para obtenção do título de Mestra em Ciência da Computação.

**Área de concentração:** Ciência da Computação.

**Linha de pesquisa:** Sistemas de Computação.

**Orientador:** Prof. Sergio Teixeira de Carvalho

**Coorientadora:** Profa. Luciana de Oliveira Berretta

Goiânia  
2026

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Nascimento, Daniela Fernandes do

O uso das tecnologias imersivas na telerreabilitação em exergames: um modelo de avaliação da presença virtual [manuscrito] / Daniela Fernandes do Nascimento. - 2026.

XCVI, 106 f.: 2026

Orientador: Prof. Dr. Sergio Teixeira de Carvalho ; co-orientadora: Dra. Luciana de Oliveira Berretta

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de Informática (INF), Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Goiânia, 2026.

Inclui: lista de figuras, lista de tabelas.

1. Telerreabilitação, Tecnologias Imersivas, Exergames, Presença Virtual, Mensuração de Presença.

I. de Carvalho, Sergio Teixeira, orient. II. Berretta, Luciana de Oliveira, co-orient. III. Título.

CDU 004



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

INSTITUTO DE INFORMÁTICA

**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**

Ata nº **11/2026** da sessão de Defesa de Dissertação de **Daniela Fernandes do Nascimento**, que confere o título de Mestra em **Ciência da Computação**, na área de concentração em **Ciência da Computação**.

Aos catorze dias do mês de maio de dois mil e vinte e seis, a partir das quinze horas, na sala 257 do Instituto de Informática, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “**O uso das tecnologias imersivas na telerreabilitação em exergames: um modelo de avaliação da presença virtual**”. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor Sérgio Teixeira de Carvalho (INF/UFG) com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professora Doutora Luciana de Oliveira Berretta (INF/UFG), coorientadora; Professora Doutora Ingrid Winkler (SENAI CIMATEC), membra titular externa; cuja participação ocorreu através de videoconferência; Professor Doutor Hugo Alexandre Dantas do Nascimento (INF/UFG), membro titular interno. Durante a arguição os membros da banca não fizeram sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido a candidata **aprovada** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor Sérgio Teixeira de Carvalho, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos catorze dias do mês de maio de dois mil e vinte e seis.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Sergio Teixeira De Carvalho, Professor do Magistério Superior**, em 14/05/2026, às 17:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Hugo Alexandre Dantas Do Nascimento, Professor do Magistério Superior**, em 14/05/2026, às 17:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luciana De Oliveira Berretta, Professora do Magistério Superior**, em 14/05/2026, às 17:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ingrid Winkler, Usuário Externo**, em 14/05/2026, às 17:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Daniela Fernandes Do Nascimento, Usuário Externo**, em 14/05/2026, às 17:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---

## Resumo

---

do Nascimento, Daniela Fernandes. **O uso das tecnologias imersivas na telerreabilitação em exergames: um modelo de avaliação da presença virtual.** Goiânia, 2026. 106p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Informática, Universidade Federal de Goiás.

A reabilitação convencional apresenta custos elevados e limites geográficos, ao passo que a telerreabilitação com exergames imersivos amplia o acesso e a participação dos pacientes. Devido à ausência de mediação física, a presença virtual torna-se a variável central para a continuidade do tratamento. O estudo objetiva desenvolver e validar um modelo integrado para avaliar a presença virtual em telerreabilitação com exergames. A abordagem metodológica combina métodos qualitativos e quantitativos, empregando uma revisão sistemática estruturada da literatura para mapeamento de lacunas e os princípios de instrumentação da psicometria contemporânea para o desenvolvimento do arcabouço. O construto foi operacionalizado em seis dimensões (espacial, social, pessoal, ambiental, envolvimento e agência), estruturadas a partir da integração de indicadores subjetivos, comportamentais, fisiológicos e tecnológicos. A viabilidade operacional da proposta foi demonstrada por meio da modelagem em um cenário de uso. A etapa de validação resultou no refinamento de 21 itens e no levantamento de métricas, a partir da execução da análise semântica com o público e da avaliação técnica por um comitê de especialistas. Conclui-se que a arquitetura multidimensional opera como um instrumento de apoio ao diagnóstico, pois permite isolar as falhas tecnológicas das limitações físicas do paciente, viabilizando a aplicação segura e a personalização de protocolos terapêuticos em ambientes imersivos.

### Palavras-chave

telerreabilitação, tecnologias imersivas, exergames, presença virtual, mensuração de presença

---

## Abstract

---

do Nascimento, Daniela Fernandes. **The use of immersive technologies in telerehabilitation with exergames: a model for evaluating virtual presence**. Goiânia, 2026. 106p. MSc. Dissertation. Instituto de Informática, Universidade Federal de Goiás.

Conventional rehabilitation presents high costs and geographic limits, while telerehabilitation with immersive exergames expands patient access and participation. Due to the absence of physical mediation, virtual presence becomes the central variable for treatment continuity. This study aims to develop and validate an integrated model to evaluate virtual presence in telerehabilitation with exergames. The methodology encompasses a systematic literature review and theoretical procedures of psychometrics. The construct was operationalized into six dimensions (spatial, social, personal, environmental, involvement, and agency), structured through the integration of subjective, behavioral, physiological, and technological indicators. The operational feasibility of the proposal was demonstrated through modeling in a use scenario. The validation stage resulted in the refinement of 21 items and the identification of metrics based on semantic analysis with the public and technical evaluation by a committee of experts. It is concluded that the multidimensional architecture operates as a diagnostic support instrument, as it allows for isolating technological failures from the patient's physical limitations, enabling safe application and personalization of therapeutic protocols in immersive environments.

### Keywords

telerehabilitation, immersive technologies, exergames, virtual presence, presence measurement

---

# Sumário

---

Lista de Figuras	9
Lista de Tabelas	10
<b>1</b> Introdução	<b>11</b>
1.1 Contexto e Motivação	11
1.2 Objetivos	13
1.3 Metodologia	14
1.4 Organização do Texto	15
<b>2</b> Fundamentação Teórica	<b>16</b>
2.1 Telerreabilitação	16
2.2 Tecnologias imersivas	20
2.3 Exergames	23
2.4 Presença Virtual	24
2.4.1 Definições e Fundamentos	24
2.4.2 Múltiplas Dimensões da Presença e perspectivas teóricas	26
2.4.3 Instrumentos de mensuração de presença	29
Slater–Usoh–Steed Questionnaire (SUS)	29
Presence Questionnaire (PQ)	30
Igroup Presence Questionnaire (IPQ)	31
Holistic Presence Questionnaire (HPQ)	31
Self-Presence Questionnaire (SPQ)	32
Virtual Therapist Alliance Scale (VTAS)	33
Telehealth Usability Questionnaire (TUQ)	34
<b>3</b> Tecnologias Imersivas na Telerreabilitação com Exergames	<b>38</b>
3.1 Mapeamento Sistemático	38
3.1.1 Pergunta de Pesquisa	39
3.1.2 Palavras-Chaves, String de Busca e Estratégia de Pesquisa	39
3.1.3 Critérios de Inclusão e Exclusão	41
3.2 Condução	41
3.3 Resultados e Discussão	43
3.3.1 Estado Atual e Propósito da Telerreabilitação Imersiva	43
3.3.2 Hardware, Software e Aplicações Práticas	44
3.3.3 Limitações Técnicas e Vantagens da Realidade Virtual	45
3.3.4 Mensuração da Presença Virtual e Instrumentos Clínicos	45
3.4 Síntese	46

4	Modelo de Avaliação Multidimensional da Presença em Telerreabilitação com Exergames Imersivos	<b>47</b>
4.1	Visão Geral do Modelo	47
4.2	Estratégias e Métodos de Mensuração da Presença	49
4.3	Determinantes de Presença	52
4.3.1	Fatores Externos	52
4.3.2	Fatores Internos	54
4.3.3	A Integração dos Determinantes	54
4.4	Estrutura do Modelo Multimodal de Avaliação da Presença em Telerreabilitação	55
4.4.1	Indicadores Subjetivos	57
4.4.2	Indicadores Comportamentais	58
4.4.3	Indicadores Fisiológicos	60
4.4.4	Indicadores Tecnológicos	62
4.5	Cenário de Aplicação: Cicloexergame	63
4.6	Discussão Geral e Implicações	64
4.7	Síntese	65
5	Validação do Modelo	<b>67</b>
5.1	Bases Teóricas da Validação	67
5.2	Estruturação Psicométrica e Validação	69
5.2.1	Dimensionalidade	70
5.2.2	Definições Constitutivas e Operacionais	72
5.2.3	Operacionalização	73
5.2.4	Análise Teórica dos Itens	79
5.3	Síntese	87
6	Conclusão	<b>89</b>
	Referências Bibliográficas	<b>91</b>

---

## Lista de Figuras

---

2.1	Milgram and Kishino's reality-virtuality continuum.	21
2.2	Personificação física do terapeuta virtual, baseada principalmente na voz.	34
2.3	Distribuição quantitativa dos itens dos questionários psicométricos selecionados por dimensões de presença virtual propostas no modelo.	37
3.1	O diagrama de fluxo ilustra o processo sequencial pelo qual os estudos foram identificados, selecionados, avaliados e incluídos nesta revisão.	42
3.2	Dispositivos e sistemas utilizados nas soluções de reabilitação	44
4.1	Representação visual do modelo de presença.	49
4.2	Representação do sistema nervoso autônomo.	61
5.1	Organograma metodológico dos procedimentos teóricos para a construção do Modelo Multidimensional de Avaliação da Presença Virtual na Telerreabilitação.	70
5.2	Nível de facilidade de compreensão dos itens por dimensão na validação semântica.	82

---

## Lista de Tabelas

---

2.1	Dimensões de Presença em Ambientes Virtuais	28
3.1	Estudos aceitos por banco de artigos	43
4.1	Síntese das estratégias de mensuração de presença virtual.	52
4.2	Mapeamento dos determinantes para as dimensões do modelo.	55
4.3	Indicadores de Presença em Ambientes Virtuais por Dimensão	56
5.1	Matriz de Operacionalização: Tradução das Dimensões em Conceitos de Mensuração.	73
5.2	Avaliação dos Itens segundo os Critérios de Pasquali	78

## Introdução

---

Este capítulo apresenta o tema da pesquisa e contextualiza a relevância da telerreabilitação como modalidade que amplia o acesso aos serviços de reabilitação. O uso de tecnologias imersivas e exergames é destacado como meio para favorecer o envolvimento e reduzir a evasão de pacientes. Nesse cenário, o conceito de presença é introduzido como o fenômeno psicológico que sustenta a eficácia da experiência do usuário em ambientes virtuais. São descritos os objetivos do estudo, a metodologia empregada para o desenvolvimento e a validação do modelo proposto, além da organização geral do texto.

### 1.1 Contexto e Motivação

Na área da saúde, a reabilitação constitui um campo relevante para a recuperação total ou parcial de pacientes com comorbidades, condições clínicas ou sequelas de acidentes, com o objetivo de viabilizar o retorno às atividades cotidianas [7]. Esse processo demanda múltiplas sessões ao longo de um período variável, podendo, em alguns casos, estender-se por toda a vida. A reabilitação é frequentemente caracterizada como um processo prolongado, oneroso e monótono, elevando os índices de evasão e reduzindo o engajamento dos pacientes [113, 7]. A reabilitação remota surgiu como alternativa para enfrentar desafios, como a distância geográfica, as limitações econômicas e a escassez de recursos, durante o processo de intervenção [25]. Seu uso foi intensificado durante a pandemia de COVID-19, período em que restrições ao atendimento presencial aceleraram a adoção de modalidades não presenciais [5]. Nesse contexto, os pacientes passaram a realizar tratamentos sem a necessidade de deslocamento às instituições de saúde ou a assistência física de profissionais.

A telerreabilitação é uma modalidade de reabilitação remota que utiliza computadores, dispositivos eletrônicos, sensores, recursos de *feedback*, atuadores e mecanismos de comunicação para ampliar o acesso aos serviços de saúde. Esta tecnologia permite o acompanhamento e o monitoramento à distância, oferecendo benefícios como o aumento da acessibilidade e da equidade no atendimento [147]. A aplicação deste modelo garante a manutenção da qualidade do serviço em níveis equivalentes ou superiores ao formato

convencional, além de promover a redução de custos e a otimização de recursos. Tais vantagens favorecem a adesão e a continuidade dos programas terapêuticos em diferentes condições e etapas do processo clínico [102, 118].

Apesar desses benefícios, a reabilitação, seja remota ou presencial, mantém características que favorecem a interrupção do tratamento por parte dos pacientes. Esse cenário motivou a adoção de estratégias complementares, como o uso de jogos sérios no processo terapêutico [3]. Diferentemente dos jogos convencionais, os jogos sérios são concebidos com objetivos que transcendem o entretenimento [74]. No contexto da reabilitação, os exergames representam uma categoria relevante, na qual a interação ocorre por meio de movimentos corporais associados a mecânicas, recompensas, desafios e metas. Esta configuração favorece o envolvimento no tratamento ao transformar o exercício físico em uma atividade lúdica e ativa, mitigando a monotonia do modelo convencional e auxilia na manutenção do cronograma terapêutico [25, 113].

O desenvolvimento tecnológico permitiu incorporar novas soluções à telerreabilitação, incluindo recursos que promovem experiências interativas por meio da simulação ou ampliação da realidade [117]. Estes sistemas integram o ambiente físico a contextos digitais para induzir a percepção de que o usuário se encontra em um local distinto do espaço físico, estimulando sentidos como visão, audição e, em alguns casos, tato, olfato e paladar. Entre os equipamentos que viabilizam tais vivências, os dispositivos conhecidos como HMDs (*Head-Mounted Displays*) operam isolando os estímulos externos e alinhando a perspectiva visual ao movimento do corpo em tempo real [53]. Estes aparelhos, frequentemente referidos como óculos de realidade virtual, permitem experiências sensoriomotoras, ou seja, processos em que as informações percebidas pelos sentidos estão em constante sincronia com as ações físicas do indivíduo. Esta característica contribui para aumentar o envolvimento e a adesão a atividade em comparação com métodos que utilizam exclusivamente telas convencionais [43]. Além disso, esses dispositivos são facilitadores, pois oferecem benefícios adicionais, como conectividade, integração com outros equipamentos ou sensores, portabilidade e interoperabilidade, ampliando as possibilidades de implementar intervenções e avaliações [59].

Mesmo com o uso da tecnologia ou de outros artifícios para favorecer a adesão ao tratamento, a distância física impõe alterações significativas na dinâmica da reabilitação ao suprimir o contato direto entre o terapeuta e o paciente [96, 35]. Este distanciamento modifica a natureza da interação clínica, pois exige que o indivíduo assuma uma postura ativa em substituição à passividade observada no modelo convencional de consultório. Na ausência da intervenção física imediata do profissional, o paciente torna-se o agente principal da própria recuperação, o que contribui para o desenvolvimento da autoeficácia e para a continuidade do tratamento a longo prazo [24, 43]. Nesse contexto, a sensação de estar contido no ambiente digital e a coordenação entre a intenção do movimento e a

resposta visual operam como conciliadores para atenuar a falta de proximidade física e assegurar a qualidade da intervenção remota [59, 91].

Embora existam iniciativas que combinem telerreabilitação, exergames e tecnologias imersivas, a maioria dos estudos concentra-se na avaliação da eficácia terapêutica em condições clínicas específicas, no desenvolvimento de estratégias de motivação para reduzir a evasão e no treinamento de profissionais [66, 107]. Observa-se uma escassez de investigações sobre a convergência entre as capacidades dos dispositivos e a mitigação das limitações impostas pela ausência de contato social [57]. Da mesma forma, os métodos que investigam a presença concentram-se principalmente na busca da sensação de estar no local de uma experiência mediada, capturada sobretudo por meio de questionários [142]. Mesmo as soluções que integram outras métricas, como as fisiológicas, tendem a lidar com atividades passivas e/ou com a exploração do ambiente. Tais abordagens não exploram o esforço físico como uma variável moderadora, o que altera a interpretação dos dados coletados em contextos de exercício ativo [128, 19].

Diante desse contexto, o estudo investiga como o uso de tecnologias imersivas juntamente com os exergames ajudam a superar as restrições de distanciamento e a ausência de supervisão física na telerreabilitação. O problema central desta pesquisa reside na carência de métodos para a mensuração empírica da experiência do usuário, uma vez que as avaliações vigentes priorizam dados subjetivos isolados e não contemplam plenamente a natureza ativa das terapias motoras [128, 50]. As métricas tradicionais falham ao desconsiderar o esforço físico e a interação social mediada como componentes da qualidade da experiência do paciente. Sob essa ótica, visto que sistemas com elevado nível de imersão tecnológica podem falhar na evocação da presença se o conteúdo não promover envolvimento psicológico ou plausibilidade na interação, o trabalho propõe o desenvolvimento de um modelo de avaliação de presença virtual que correlacione dados mensuráveis às percepções do indivíduo. O escopo pretendido abrange a estruturação de um instrumento capaz de quantificar como a percepção de localização, o vínculo com o terapeuta e a agência sobre o ambiente digital impactam a qualidade e a continuidade do tratamento remoto.

## 1.2 Objetivos

O objetivo geral deste estudo é desenvolver e validar um modelo para avaliar a presença virtual na telerreabilitação por meio de exergames imersivos, utilizando uma integração multimodal dos dados.

Para alcançar este propósito, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Mapear o estado da arte das tecnologias imersivas aplicadas à telerreabilitação por

meio de exergames, identificando as limitações técnicas e as lacunas metodológicas na avaliação da experiência do usuário.

- Selecionar fontes de dados capazes de mensurar a presença virtual, em conformidade com as restrições do atendimento remoto.
- Analisar os determinantes técnicos e humanos que favorecem ou reduzem a sensação de presença em ambientes virtuais de reabilitação.
- Estruturar um modelo avaliativo multimodal que integre e integre as métricas selecionadas, estabelecendo correlações entre os níveis de presença virtual e os dados coletados.
- Validar o modelo integrado assegurando a adequação dos indicadores para o monitoramento e a interpretação da presença virtual em telerreabilitação imersiva

## 1.3 Metodologia

O percurso metodológico adotado nesta pesquisa iniciou com um mapeamento sistemático da literatura sobre telerreabilitação, exergames e tecnologias imersivas. O objetivo consistiu em identificar o estado da arte e as lacunas metodológicas na avaliação da experiência do usuário no atendimento remoto. Este levantamento revelou uma produção científica focada majoritariamente em validação de soluções clínicas e estratégias motivacionais, identificando a escassez de estruturas que integrem as capacidades de processamento dos dispositivos à captura de dados. Adicionalmente, identificou-se a predominância de ferramentas subjetivas que não contemplam a natureza ativa da reabilitação física.

Com o intuito de compreender as variáveis que influenciam o engajamento e a percepção de presença, realizou-se uma análise das dinâmicas internas e externas do processo terapêutico e de interação com a tecnologia por meio do mapeamento sistemático e trabalhos relacionados. Os resultados apontaram desafios relacionados à transição do paciente para uma postura ativa e à necessidade de ferramentas que atenuem a ausência de suporte físico imediato. Esta análise destacou a importância de monitorar a experiência do usuário de forma a considerar tanto os aspectos psicológicos quanto as respostas corporais durante a execução dos exercícios.

A estruturação do modelo de avaliação de presença virtual fundamentou-se nas descobertas obtidas e na integração de diferentes categorias de métricas. O desenvolvimento priorizou a criação de um sistema multimodal capaz de correlacionar a percepção do indivíduo, a formas de registro direto e dados técnicos do ambiente imersivo. Este processo permitiu estabelecer as bases teóricas para a quantificação da experiência em contextos de exercício ativo, transformando a percepção subjetiva em dados estruturados para o acompanhamento clínico.

O processo de avaliação utilizou as diretrizes da psicometria contemporânea para assegurar a validade de conteúdo e a adequação estrutural da proposta antes de sua aplicação clínica. A metodologia de validação organizou-se em duas etapas. Primeiro, conduziu-se uma análise semântica estruturada com a população geral para verificar a inteligibilidade do vocabulário dos questionários e mitigar a carga cognitiva. Em seguida, o modelo foi submetido à avaliação de um comitê multidisciplinar de especialistas. Esta etapa permitiu julgar a precisão técnica das métricas de rastreamento e a consistência teórica dos construtos, consolidando a integração entre a percepção subjetiva de imersão e os dados objetivos do sistema.

## 1.4 Organização do Texto

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos, organizados para refletir a progressão metodológica desde a identificação do problema até a entrega do modelo de validação.

O Capítulo 2 estabelece a base teórica sobre telerreabilitação, tecnologias imersivas, exergames e o constructo de presença. Esta seção fornece os conceitos direcionadores para compreender a problemática da mensuração subjetiva em ambientes de exercício ativo, fundamentando os requisitos teóricos do estudo.

O Capítulo 3 reporta o mapeamento sistemático da literatura, correspondente ao primeiro objetivo específico da pesquisa. O texto detalha o protocolo de busca e a síntese das lacunas tecnológicas, entregando um panorama estruturado da escassez de métodos integrados para a captura de dados de presença em tempo real.

O Capítulo 4 descreve o desenvolvimento do modelo e a integração das métricas subjetivas, comportamentais, fisiológicas e tecnológicas. Esta seção inclui a descrição de um cenário de aplicação para demonstrar a viabilidade operacional da proposta.

O Capítulo 5 apresenta a validação metodológica conduzida por meio da psicometria. O texto expõe os resultados da análise semântica e da avaliação por especialistas sobre a validade de conteúdo e a inteligibilidade do instrumento.

O Capítulo 6 sintetiza as entregas da pesquisa em relação ao problema central e ao objetivo geral. A seção consolida as contribuições do modelo integrado para a área de computação aplicada à saúde, além de apontar diretrizes e limitações para desenvolvimentos futuros.

## Fundamentação Teórica

---

Neste capítulo, apresentam-se os conceitos fundamentais que sustentam o projeto, abrangendo as definições e características principais da telerreabilitação, as tecnologias imersivas, os exergames e a presença. Essa fundamentação teórica fornece o arcabouço necessário para compreender os elementos envolvidos na telerreabilitação com exergames imersivos e a avaliação da presença virtual nesse contexto.

### 2.1 Telerreabilitação

A telerreabilitação é uma subárea da telemedicina que utiliza tecnologias da informação e comunicação (TIC) para prestar serviços de reabilitação de forma remota [4, 20]. Essa modalidade pode ser classificada por temporalidade ou por tecnologia. Quanto à temporalidade, distinguem-se modalidades síncronas (interação em tempo real), assíncronas (comunicação não simultânea), híbridas (combinação de ambas) e multiplexadas (supervisão simultânea de múltiplos pacientes). Já quanto ao tipo de tecnologia, destacam-se a videoconferência, os sistemas baseados em sensores e dispositivos vestíveis, os aplicativos móveis e as tecnologias emergentes, como a realidade virtual [161]. O campo abrange uma ampla gama de serviços de reabilitação e habilitação, incluindo avaliação, monitoramento, prevenção, intervenção, supervisão, educação, consulta e aconselhamento [20, 124].

Historicamente, a telerreabilitação tem suas origens nas décadas de 1960 e 1970, com as primeiras intervenções documentadas focadas principalmente em terapias para distúrbios da fala [107]. Seu desenvolvimento inicial apresentou aplicações limitadas, expandindo-se posteriormente com o avanço tecnológico e a diversificação das áreas de atuação, consolidando-se com a incorporação de tecnologias emergentes [101, 34]. Ressalta-se que a pandemia de COVID-19 atuou como um fator acelerador para a expansão da telerreabilitação, uma vez que o distanciamento físico exigido evidenciou a necessidade desses serviços, impulsionando seu crescimento[102].

A telerreabilitação tem demonstrado versatilidade e eficácia em diversas condições de saúde, configurando-se como uma alternativa viável à reabilitação presencial,

com resultados clínicos comparáveis ou superiores [?, 102]. Estudos indicam sua aplicação e eficácia clínica em situações neurológicas, cardiovasculares, musculoesqueléticas, respiratórias, oncológicas, geriátricas, de saúde mental e pediátricas, com benefícios equivalentes à terapia presencial [73, 5]. Ademais, tem contribuído para superar barreiras geográficas e socioeconômicas [34, 64], reduzir custos [7, 132] e melhorar a qualidade de vida [101], aspectos que continuam sendo objeto de investigação na literatura.

Apesar do crescimento e da eficácia comprovada da telerreabilitação, é fundamental reconhecer suas limitações práticas e contextuais. Problemas como a necessidade de conexão estável à internet, limitações em populações com baixa familiaridade com a tecnologia e a ausência de contato presencial podem afetar negativamente os resultados terapêuticos e a adesão em alguns cenários clínicos [74, 25]. Evidências indicam que certas condições de saúde complexas demandam avaliações e intervenções presenciais para garantir maior precisão e segurança nos procedimentos, o que sugere que a telerreabilitação deve ser vista como uma alternativa viável, e não substitutiva, ao atendimento tradicional nesses casos específicos [154, 73].

### **Elementos Fundamentais**

A telerreabilitação é uma modalidade que requer a identificação e integração de elementos essenciais que já compõem o processo terapêutico. Estes elementos funcionam como diretrizes fundamentais para garantir que a experiência remota preserve e até potencialize os benefícios da reabilitação. Segundo a Organização Mundial da Saúde <sup>1</sup>, aproximadamente um terço da população global apresenta condições de saúde que se beneficiariam diretamente de intervenções de reabilitação, o que evidencia a relevância da expansão de modalidades acessíveis, como a telerreabilitação.

O processo terapêutico remoto estrutura-se em três pilares interdependentes, adaptados do modelo de aliança terapêutica de Bordin [96, 18] para o contexto digital: (1) vínculo emocional entre terapeuta e paciente, mediado por tecnologias de comunicação; (2) acordo explícito sobre as tarefas terapêuticas, com ênfase na autonomia do paciente na execução dos exercícios; e (3) consenso sobre objetivos clínicos, negociados colaborativamente e monitorados por indicadores objetivos. Esses elementos constituem a base sobre a qual a presença virtual pode atuar como mediadora, potencializando a percepção.

### **Fases Processuais Essenciais**

---

<sup>1</sup><https://www.who.int/initiatives/rehabilitation-2030>

O processo de reabilitação remota organiza-se em fases sequenciais que estabelecem métricas específicas de avaliação e tipos determinados de *feedback* para cada etapa [33, 44]:

1. **Fase de Avaliação Inicial:** definição da linha de base por meio de dados objetivos de movimento, questionários de autorrelato sobre expectativas e ansiedades e calibração dos dispositivos tecnológicos. Os indicadores obtidos devem permitir a personalização das intervenções subsequentes.
2. **Fase de Adaptação Tecnológica:** familiarização do paciente com o ambiente virtual e os dispositivos, acompanhamento das curvas de aprendizagem por meio de métricas comportamentais e ajustes de interface com base em *feedback* subjetivo sobre usabilidade e conforto.
3. **Fase de Ativação Funcional:** execução de exercícios progressivos, com coleta simultânea de dados sobre o desempenho motor, sinais fisiológicos de engajamento e autorrelatos de motivação. As métricas devem identificar avanços graduais e necessidades de ajuste.
4. **Fase de Consolidação:** aprimoramento de habilidades por meio de exercícios complexos, com foco em métricas de precisão, fluidez de movimento e manutenção do engajamento ao longo de sessões prolongadas.
5. **Fase de Reintegração Virtual:** simulação de atividades cotidianas no ambiente virtual, com avaliação da transferência de habilidades e preparação para a transição para o ambiente real. São utilizadas métricas que comparam o desempenho virtual e real.
6. **Fase de Manutenção Remota:** acompanhamento da adesão a longo prazo, detecção de declínios funcionais e preservação da motivação por meio de métricas de engajamento sustentadas.

Observa-se que a divisão em fases não possui apenas caráter didático, mas também reflete uma progressão lógica e relevante, ainda que não obrigatória, na qual cada etapa apresenta objetivos específicos voltados a preparar o paciente para avanços subsequentes no tratamento. O planejamento individualizado adota um regime colaborativo, com metas claras e mensuráveis (por exemplo, critérios *SMART*: Específico, Mensurável, Alcançável, Relevante e Temporal), permitindo ajustes conforme a evolução clínica, as preferências do paciente e o contexto familiar, integrando, sempre que pertinente, os avanços tecnológicos disponíveis [76, 107].

O progresso em cada fase é determinado pela resposta clínica individual. A frequência das sessões, o ritmo de evolução e a definição de objetivos intermediários são ajustados continuamente com base na avaliação do profissional de saúde e no *feedback* do paciente. Esse acompanhamento personalizado garante que o tratamento permaneça otimizado, seguro e centrado nas necessidades do indivíduo [90].

## Feedback na Telerreabilitação

O *feedback* é um elemento essencial no processo de reabilitação, independentemente da modalidade adotada ou do serviço prestado, pois orienta o paciente durante a realização dos exercícios e favorece tanto o acompanhamento quanto a execução correta dos movimentos, especialmente nas sessões de reabilitação motora [41, 116, 103, 47]. De forma geral, podem ser identificados dois tipos principais de *feedback*:

- **Feedback intrínseco:** informações percebidas pelo indivíduo a partir de suas próprias sensações corporais durante a execução de uma atividade, incluindo percepção do movimento, posição corporal e estímulos táteis, visuais e auditivos [62].
- **Feedback extrínseco:** informações provenientes de fontes externas ao paciente, como orientações do profissional, mensagens automáticas de sistemas de notificação digitais (computadores, aplicativos) ou dados fornecidos por sensores, dispositivos de realidade virtual e exergames. Esse tipo de *feedback* auxilia na verificação da correção dos movimentos realizados [62, 102].

Na telerreabilitação, a distância física entre paciente e terapeuta amplia a relevância do *feedback* extrínseco, que é disponibilizado por meio de diferentes recursos em plataformas digitais:

- **Feedback visual imersivo:** representação tridimensional dos movimentos do paciente, apresentação de indicadores de progresso no ambiente virtual e uso de avatares para correção postural em tempo real.
- **Feedback auditivo espacializado:** fornecimento de instruções direcionais, sons de recompensa com contexto e alertas sonoros que orientam a execução correta dos exercícios no ambiente imersivo.
- **Feedback háptico integrado:** emissão de vibrações e de resistências pelos dispositivos de realidade virtual, como complemento às sensações proprioceptivas do paciente.
- **Feedback adaptativo:** ajuste automático do tipo e da intensidade do *feedback*, com base nas métricas coletadas e na personalização da experiência conforme o progresso e as preferências individuais.

O *feedback* extrínseco aplicado à avaliação do movimento pode ser dividido em conhecimento de resultado, que informa se o objetivo da tarefa foi alcançado, e conhecimento de desempenho, que detalha a execução do movimento e aponta aspectos técnicos a serem aprimorados. Preferencialmente, essas informações são fornecidas em tempo real, permitindo correções durante a própria tarefa e favorecendo o desempenho do paciente. O acompanhamento proporcionado pelo *feedback* também permite identificar

sinais de fadiga ou desmotivação, o que viabiliza intervenções imediatas para preservar a qualidade das sessões de reabilitação [9, 62].

### **Fatores Externos Relevantes**

A efetividade da telerreabilitação está relacionada a fatores que vão além da realização das sessões, abrangendo aspectos técnicos, humanos e sociais presentes no período anterior, durante e posterior ao atendimento remoto [27, 99, 100].

1. **Fatores Tecnológicos:** qualidade da conectividade, desempenho dos dispositivos, compatibilidade entre sistemas e facilidade de uso das interfaces.
2. **Fatores de Ambiente:** adequação do espaço físico domiciliar, qualidade da iluminação, níveis de ruído e disponibilidade de apoio familiar.
3. **Fatores Humanos:** familiaridade tecnológica, expectativas terapêuticas, capacidade de autogerenciamento e motivação intrínseca.
4. **Fatores Clínicos:** severidade da condição, comorbidades associadas, medicações em uso e limitações físicas específicas.

A integração sistemática desses fatores na avaliação da presença virtual é essencial para contextualizar os indicadores coletados e evitar interpretações equivocadas. Este trabalho correlaciona as métricas de presença com esses parâmetros contextuais, permitindo distinguir variações genuínas na experiência imersiva de interferências técnicas ou externas [55, 90]. Essa abordagem assegura que a avaliação da presença contribua efetivamente para a otimização dos resultados clínicos na telerreabilitação imersiva.

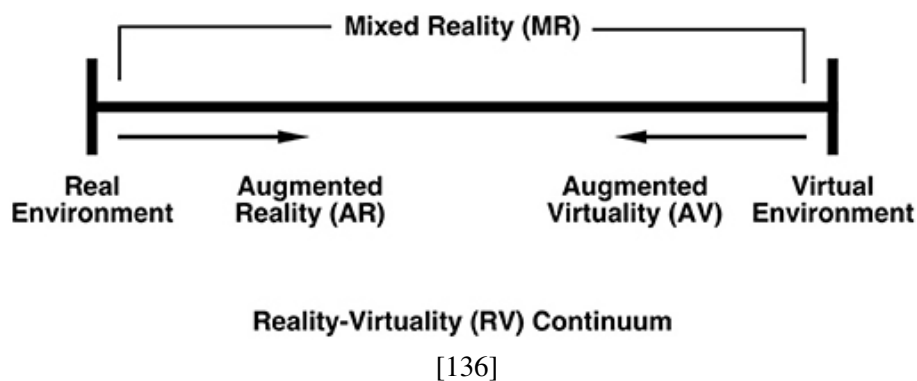
## **2.2 Tecnologias imersivas**

Tecnologias imersivas são sistemas que integram múltiplos sentidos, como visão, audição e tato, de forma a proporcionar experiências perceptivamente envolventes que induzem no usuário a sensação de inserção em ambientes controlados, ainda que virtualizados [36, 143]. Historicamente, este campo remonta a experimentos pioneiros como o Sensorama (1962), que buscava o envolvimento multissensorial por meio de estímulos síncronos, e o sistema The Sword of Damocles (1968), marco fundador da visualização dependente do ponto de vista do usuário [61]. Esses sistemas estabelecem uma conexão contínua entre os mundos real e virtual por meio de interações naturais baseadas em gestos, movimentos corporais e fala, resultando em uma experiência integrada que transcende a mera visualização de um conteúdo digital.

O conceito de tecnologias imersivas fundamenta-se no Continuum Realidade-Virtualidade proposto por Milgram e Kishino (1994), conforme ilustrado na Figura

2.1. Este modelo estabelece um espectro que organiza a transição da realidade física para ambientes completamente virtuais por meio de diferentes níveis de realidade mista [36]. Investigações contemporâneas revisitaram esta proposição original para destacar que a realidade virtual absoluta permanece tecnicamente inatingível e que o escopo da realidade mista supera as definições iniciais [136]. Esta evolução teórica possibilitou a criação de taxonomias que integram aspectos físicos e sociais à experiência, além do desenvolvimento do conceito de realidade diminuída, voltado à remoção técnica de elementos do campo de visão para adequar o ambiente ao contexto de uso [36].

Figura 2.1: Milgram and Kishino's reality-virtuality continuum.



O espectro das tecnologias imersivas abrange diferentes modalidades. A realidade aumentada (AR) projeta elementos digitais sobre o ambiente físico, ampliando a percepção sem substituí-lo. A realidade virtual (VR) cria ambientes inteiramente digitais, em que o usuário é inserido em um cenário simulado, separado do mundo real. A realidade mista (MR) integra simultaneamente componentes digitais e elementos físicos, permitindo interação mútua em tempo real. A realidade estendida (XR) é um termo abrangente que engloba AR, VR e MR, referindo-se a experiências mediadas, híbridas ou simuladas que combinam elementos reais e virtuais [83, 143, 36, 42].

A análise destas modalidades opera em dois eixos complementares: o tecnológico, focado nas capacidades de hardware e software para ampliar ou substituir estímulos sensoriais; e o da experiência, voltado às respostas psicológicas e comportamentais do usuário. Esta divisão fundamenta a distinção entre imersão e presença. A imersão define a capacidade técnica objetiva do sistema, mensurável por parâmetros como campo de visão, resolução e taxa de atualização. Em contrapartida, a presença constitui a resposta subjetiva a esses estímulos, caracterizando o estado em que o cérebro reconhece o ambiente virtual como o espaço de referência primário [146, 29, 114].

Para viabilizar a imersão e a interação, os sistemas dependem de diferentes níveis de hardware e técnicas de entrada. A realidade virtual classifica-se conforme o grau de imersão proporcionado ao usuário. Dispositivos de cabeça (*head-mounted display*: HMD)

ou sistemas de projeção em salas (*Cave Automatic Virtual Environment: CAVE*) entregam uma experiência imersiva, visto que substituem os estímulos visuais externos por um ambiente tridimensional para ampliar a sensação de presença. Em oposição, a RV baseada em tela (*screen-based VR*) opera de forma não imersiva, pois mantém a consciência do ambiente físico e oferece uma intensidade visual reduzida. A distinção central entre essas categorias reside na capacidade de controle dos estímulos sensoriais e na oferta de visão panorâmica.

Além da infraestrutura de exibição, as tecnologias imersivas mantêm estreita relação com a Interação Humano-Computador (IHC), ao oferecerem interfaces multimodais baseadas em comandos de voz, gestos, movimentos corporais, rastreamento ocular e *feedback* tátil. Enquanto as tecnologias interativas tradicionais focam no controle e na manipulação direta do ambiente digital [14], os sistemas imersivos integram o rastreamento tridimensional e sensores fisiológicos para enfatizar a sensação de presença [45]. Essas modalidades favorecem uma aproximação com os padrões motores naturais do usuário, consolidando a autonomia e a profundidade da experiência no ambiente virtual.

Ambientes virtuais controlados viabilizam investigações sobre fenômenos psicológicos complexos, como comportamento social, percepção corporal e cognição espacial [65, 89, 88]. Permitem também manipulação precisa de variáveis, objetos e contextos que seriam inviáveis no mundo físico. Na saúde, tem aplicação terapêutica no tratamento da ansiedade, das fobias e em processos de reabilitação, permitindo intervenções ajustadas e monitoramento em tempo real [121, 89]. Na educação, contribuem para o aumento do engajamento dos estudantes e para a melhoria da aprendizagem, por meio de simulações, experiências práticas e ambientes colaborativos que favorecem a compreensão de conteúdos complexos [121].

Apesar do potencial, a adoção de tecnologias de imersão completa baseadas em dispositivos do tipo HMD enfrenta restrições críticas de usabilidade e adesão. O uso prolongado induz a sintomas de fadiga visual e cibernáusea (*cybersickness*), fatores que comprometem a aceitação contínua pelo paciente [71]. Paralelamente, o custo de aquisição e a complexidade de configuração exigem suporte especializado para evitar o declínio na efetividade das intervenções [49, 72]. Para mitigar estas limitações, a presente pesquisa delimita o uso do modelo de monitoramento ao contexto de HMDs portáteis (*standalone*), visando reduzir a barreira técnica de infraestrutura. O modelo proposto estabelece métricas e parâmetros de telemetria voltados para a identificação precoce de variações de desconforto e engajamento. Esta abordagem fornece os subsídios tecnológicos necessários para transformar a experiência subjetiva em dados objetivos, viabilizando a supervisão segura e a viabilidade operacional em sessões remotas de telerreabilitação.

## 2.3 Exergames

Exergames consistem em jogos digitais que demandam movimentos corporais como mecânica principal da jogabilidade, unindo o esforço físico a elementos de design de jogos para gerar experiências ativas [66]. A literatura também adota as nomenclaturas “jogos baseados em movimento” ou “jogos ativos”, diferenciando-os dos jogos digitais convencionais pela exigência da movimentação motora como condição para o progresso no sistema [11]. O termo *exergaming* descreve a prática da atividade com o objetivo de promover o exercício físico, enquanto *exergame* designa o artefato de software [106]. Ao contrário dos jogos orientados ao entretenimento estático, os exergames induzem a prática de atividade física e favorecem hábitos saudáveis.

Embora mencionados desde a década de 1980, os exergames enfrentaram obstáculos iniciais relacionados a custos elevados e interfaces pouco intuitivas [16]. Esse cenário mudou no final dos anos 1990 com o lançamento da franquia *Dance Dance Revolution* (DDR), um dos primeiros exergames comercialmente bem-sucedidos, que despertou o interesse tanto do mercado quanto da comunidade acadêmica por essa categoria [16, 87]. O conceito de *exergaming* consolidou-se com o advento de consoles que incorporavam sensores de movimento, destacando-se o Nintendo Wii, lançado em 2006, considerado um marco na popularização desse tipo de jogo [69, 153]. O Nintendo Wii introduziu o controle sem fio próprio, capaz de detectar movimentos e rotações em três dimensões [153]. A evolução dos exergames acompanhou os avanços tecnológicos. Inicialmente restritos a consoles proprietários, como o Nintendo Wii e o Xbox Kinect, expandiram-se para a realidade virtual, aplicativos móveis e sistemas personalizados [23, 163].

A taxonomia da área organiza os exergames em três dimensões principais: plataforma tecnológica, modalidade motora e finalidade de uso [66]. Na dimensão tecnológica, os sistemas operam via consoles comerciais, interfaces de realidade virtual ou arquiteturas baseadas em sensores de visão computacional. Na modalidade motora, os jogos exigem padrões de dança, simulação de esportes ou exercícios de equilíbrio e amplitude de movimento. Na dimensão de finalidade, os objetivos englobam a indução de atividade física preventiva, o suporte a protocolos de reabilitação motora e o treinamento de funções cognitivas para perfis demográficos variados [66].

No contexto do *design* de software, cabe distinguir exergames de sistemas gamificados. A gamificação designa a aplicação de mecânicas de jogos em contextos não lúdicos para motivar comportamentos. Os exergames estruturam a sua arquitetura em torno de regras, desafios e narrativas que compõem um jogo digital íntegro, no qual a atividade física atua como o controlador da experiência interativa [26].

A integração de mecânicas de jogos e exigência motora torna os exergames ferramentas estratégicas para esta pesquisa. A aplicação desses sistemas mitiga as barreiras

de adesão aos exercícios e estimula o engajamento do participante [30]. Ao estabelecer o movimento físico como base da interação em ambientes virtuais, a abordagem exige o monitoramento empírico da atividade. A compreensão técnica da estrutura dos exergames fundamenta as decisões do modelo proposto neste trabalho, permitindo a utilização das respostas motoras geradas durante o *exergaming* como variáveis de entrada para mensurar a presença e os resultados da telerreabilitação [75, 40, 81].

## 2.4 Presença Virtual

### 2.4.1 Definições e Fundamentos

A presença, frequentemente referida como telepresença ou presença virtual, apresenta desafios já em sua própria definição, constituindo um tópico complexo pela ausência de consenso e pela sobreposição com outros conceitos. Apesar de décadas de pesquisa, não há uma definição única e universalmente reconhecida para o termo. A definição mais comum e intuitiva é a sensação subjetiva de “estar lá” (*being there*) em um ambiente simulado ou mediado, mesmo que o corpo físico esteja em outro lugar, definição frequentemente usada no contexto de realidade virtual [134]. De forma geral, presença é definida como “o grau em que algo (ambiente, pessoa, objeto ou qualquer outro estímulo) parece existir no mesmo espaço físico que o observador” [12, 39, 158].

O termo tele presença surgiu na década de 1980, quando Marvin Minsky o utilizou para descrever a possibilidade de operar ou manipular artefatos à distância por meio de tecnologias sensoriais e robóticas capazes de reproduzir os movimentos do usuário remotamente [97, 145]. A *International Society for Presence Research (ISPR)*<sup>2</sup>, uma organização sem fins lucrativos fundada em 2002 para apoiar pesquisas acadêmicas relacionadas ao conceito de (tele)presença define a mesma como um “estado psicológico ou percepção subjetiva na qual, embora parte ou toda a experiência atual de um indivíduo seja gerada e/ou filtrada por tecnologia criada pelo homem, parte ou toda a percepção do indivíduo falha em reconhecer com precisão o papel da tecnologia na experiência”.

A evolução do conceito evidencia a transição de um construto psicológico para uma métrica de avaliação de sistemas imersivos. Nestas plataformas, a mensuração da presença atua como o indicador de eficácia da interação, visto que determina a capacidade da tecnologia em validar o ambiente digital como espaço de referência empírica para o indivíduo. A literatura diverge sobre a definição do fenômeno e o categoriza a partir da percepção de localização, da ação motora ou da ilusão tecnológica [135]. Esta pesquisa adota uma perspectiva integradora, onde a presença compreende o estado psicológico no

---

<sup>2</sup><https://ispr.info/>

qual o paciente percebe a localização física no ambiente virtual, exerce agência sobre as ações motoras representadas e, quando aplicável, estabelece conexão social com agentes remotos ou sintéticos.

A literatura especializada evidencia ambiguidade no uso do termo imersão, frequentemente empregado como sinônimo ou precursor da presença [12, 135, 50]. Autores divergem ao classificar o conceito sob perspectivas objetivas ou subjetivas. A abordagem de Mel Slater [137] define a imersão como uma propriedade quantificável do sistema tecnológico e da sua capacidade de estimulação sensorial. Em contraste, pesquisadores como Witmer e Singer [157] descrevem a imersão como um estado psicológico e uma experiência interna do indivíduo. Dessa forma, para evitar a confusão entre os termos, nessa pesquisa, a imersão será a objetiva que estabelece os limites e as condições para que a experiência ocorra, enquanto a presença é a reação psicológica do usuário a esse sistema imersivo. Portanto, um sistema pode ser altamente imersivo (tecnologicamente avançado) e, ainda assim, falhar em transmitir presença se o conteúdo não for psicologicamente envolvente ou plausível [135, 142].

A presença também pode ser compreendida como um *quale*, isto é, uma experiência subjetiva e individual que reflete a maneira como cada pessoa percebe e sente o ambiente ao seu redor. Por essa natureza fenomenológica, os indivíduos experimentam diferentes níveis e intensidades de presença. Essa variação é influenciada por uma combinação complexa de fatores externos (tecnológicos) e internos (psicológicos e individuais). Mesmo na realidade física, os seres humanos não experimentam um nível constante de presença. Tipicamente, a nossa atenção é dividida entre o mundo físico imediato e o “mundo mental” de memórias, planejamentos e sonhos acordados [158, 67]. Essa variação pode ser explicada pelos esquemas de realidade (*Reality Schemata*) e de mídia (*Media Schemata*), que representam, respectivamente, os modelos mentais que sustentam a sensação de realidade e o conhecimento de que a experiência é mediada pela tecnologia. O equilíbrio entre esses dois esquemas define o grau de imersão, explicando por que diferentes indivíduos percebem níveis distintos de presença no mesmo ambiente virtual [110].

Embora a presença tenda a ser um *quale*, há um esforço para uma “equação de presença”, buscando representá-la por meio de modelos matemáticos, com o objetivo de quantificar e prever como diferentes variáveis tecnológicas e humanas se combinam para criar a presença. Os primeiros esforços de formalização foram conduzidos por Corina Sas e Gregory O’Hare em 2003 [129], que propuseram uma equação preditiva baseada em traços cognitivos do indivíduo, como a disposição para suspender a descrença e o grau de absorção imaginativa, capazes de explicar cerca de 45% da variação na presença. Posteriormente, os autores expandiram esse modelo para uma formulação mais abrangente, equilibrando fatores cognitivos, tecnológicos e de conteúdo, com pesos

variáveis conforme o tipo de sistema imersivo. Diante da crescente complexidade dessas interações, Skarbez, em 2017 [135], avançou para um modelo vetorial, sugerindo que a presença deve ser entendida como a soma ponderada de múltiplos vetores que representam diferentes dimensões envolvidas na experiência, como mostrado na equação 2-1. Esse modelo reconhece que variáveis como a fidelidade do sistema, a coerência narrativa, o engajamento psicológico e as diferenças individuais contribuem, de forma simultânea e dinâmica, para moldar a intensidade da presença percebida em ambientes virtuais [135].

$$\begin{aligned} \text{Presença} = & A \left[ \text{Vetor de fatores cognitivos} \right] \\ & + B \left[ \text{Vetor de fatores de tarefa} \right] \\ & + C \left[ \text{Vetor de fatores tecnológicos} \right] \\ & + D \left[ \text{Vetor de fatores de conteúdo} \right] \end{aligned} \quad (2-1)$$

O conceito de (tele)presença é central em pesquisas sobre ambientes virtuais, especialmente nos de caráter colaborativo [83]. A compreensão de como os usuários vivenciam a sensação de presença e de como dispositivos ou plataformas podem ampliá-la é relevante para discutir aspectos relacionados à participação, comunicação e engajamento. Esse entendimento também orienta a escolha de métodos para a coleta e análise de dados sobre a percepção dos usuários, bem como a avaliação da eficácia dos recursos que promovem a sensação de presença [162].

No contexto da saúde, a presença atua como métrica de eficácia das intervenções tecnológicas. A evocação desse estado psicológico induz o usuário a manifestar comportamentos e respostas fisiológicas no ambiente virtual com o mesmo padrão do mundo físico [142]. Esse alinhamento sensorio-motor viabiliza a transferência da experiência digital para o cotidiano do paciente, assegurando o benefício terapêutico em reabilitações físicas e cognitivas [50, 39].

### 2.4.2 Múltiplas Dimensões da Presença e perspectivas teóricas

A literatura científica rejeita a definição da presença como um construto monolítico. Em termos metodológicos, um construto corresponde a um conceito abstrato elaborado para organizar e mensurar variáveis psicológicas ou comportamentais que carecem de observação física direta. Nesta perspectiva, a compreensão da presença fundamenta-se na articulação de eixos estruturais que se unem para explicar a totalidade da experiência mediada. O arcabouço teórico da presença é comumente segmentado em três domínios: espacial, social e pessoal (*self*) [77, 86, 17]

A presença espacial, ou física, é a sensação de estar localizado no ambiente mediado e de que os objetos virtuais compartilham o mesmo espaço físico do observador

[139, 56]. Essa dimensão é a mais contemplada dentro da literatura, isso se deve principalmente ao fato de que historicamente o próprio termo “presença” tem sido utilizado de forma quase sinônima ao senso de presença espacial. Outro ponto a ser considerado é que os questionários subjetivos mais utilizados na comunidade científica, o Presence Questionnaire (PQ), o Slater-Usuh-Steed (SUS) e o Igroup Presence Questionnaire (IPQ), focam predominantemente ou exclusivamente nessa dimensão [12, 142].

A presença social, ou copresença, refere-se à percepção de estar acompanhado por outros seres (avatars humanos ou agentes artificiais) e ao acesso à sua inteligência ou intenções [105]. A presença pessoal (autopresença) descreve a extensão em que o usuário percebe o avatar virtual como o próprio corpo ou identidade [120]. Baseada em um modelo da neurociência, essa dimensão divide-se em três níveis (proto, core e extended) do “eu” que variam entre o eu físico, o emocional e o autobiográfico [110].

A divisão da presença em três dimensões (espacial, social e pessoal) é atribuída a Lee [77] e a Biocca [17]. Essa divisão em três dimensões é amplamente utilizada porque, em conjunto, cobre a totalidade da experiência humana de “existir” em qualquer mundo, seja ele real ou virtual [58, 110].

Além dos domínios da divisão clássica em três dimensões, a taxonomia da presença pode ser expandida para mais ou menos dimensões. Entre as propostas mais abrangentes, destaca-se a de Lombard e Ditton (1997) [83], que contextualizou seis dimensões: riqueza social, realismo, transporte, imersão, ator social no meio e meio como ator social [122]. Também encontramos modelos de duas dimensões, como o modelo de duas ilusões de Slater [137], que divide a presença em *place illusion* (ilusão de lugar) e *plausibility illusion* (ilusão de plausibilidade dos eventos), e o modelo de Kim e Biocca, que caracteriza a telepresença como uma experiência bidimensional composta por *Arrival* (chegada) e *Departure* (partida) [67].

Também é possível destacar outros modelos que incorporam novas facetas e conceitos relacionados à presença. É o caso da presença ambiental, proposta originalmente por Carrie Heeter em 1992 [58], que foca na reatividade do mundo virtual, conceito intrinsecamente ligado à plausibilidade de Slater e também contido no conceito de coerência, com a ilusão de que o que está acontecendo é real, sustentada pela consistência lógica e pela credibilidade dos eventos em relação às expectativas do mundo real [137]. A presença psicológica traz o conceito de envolvimento (*involvement*) de Witmer e Singer (1998), usado para descrever o estado psicológico de foco de energia mental e de atenção em um conjunto coerente de estímulos virtuais [158]. Esse estado é apoiado pelas teorias de absorção e de fluxo (*flow*), que explicam que, ao alocar recursos de atenção na tarefa virtual, o cérebro suprime a consciência dos estímulos do mundo físico (distração do mundo real), intensificando a imersão psicológica. Por fim, a cognição corporificada (*embodied cognition*) de Schubert (2001) propõe a teoria de que a presença surge da construção mental de

um modelo no qual as ações corporais do usuário são representadas como possíveis no mundo virtual [130]. Emerge, assim, a agência motora, que significa sentir-se o causador direto das alterações no ambiente, o que é fundamental para a incorporação (*embodiment*) e para que o cérebro aceite o avatar como uma extensão funcional do corpo físico.

Além dessas dimensões mais generalistas, podem-se encontrar dimensões de presença específicas para determinadas áreas. Quando se trata da realidade mista, pode-se encontrar a presença de objeto, definida como a crença de que um objeto virtual específico existe no ambiente real do usuário; a presença temporal, que se refere à sensação de estar inserido no tempo do conteúdo; a presença narrativa, relacionada ao envolvimento com a história que está sendo contada; e a parapresença, que é a percepção de que uma entidade virtual está fisicamente no ambiente real.

A literatura organiza as tipologias de presença para simplificar a análise da relação entre o usuário e o ambiente mediado. Essas concepções permitem aos pesquisadores diagnosticar como diferentes estímulos tecnológicos e processos mentais se combinam para criar o sentimento de realidade. A união desses panoramas sugere que a presença não é apenas um “efeito visual”, mas sim uma sincronização entre a realidade mental subjetiva e o ambiente externo [110]. Enquanto a imersão descreve as capacidades tecnológicas, os aspectos da presença descrevem a resposta psicológica e comportamental do usuário diante delas [139]. Para que uma experiência seja relevante, o sistema deve fornecer não apenas fidelidade sensorial, mas também coerência lógica e reatividade [93].

A Tabela 2.1 apresenta uma síntese das dimensões e dos conceitos correlatos de presença que terão maior influência no decorrer deste trabalho.

Tabela 2.1: Dimensões de Presença em Ambientes Virtuais

Dimensão	Nomenclaturas Alternativas	Pergunta Central	Definição Resumida
Espacial	Presença Física, Autolocalização ou Ilusão de Lugar (PI)	Estou lá? Ou onde estou?	O estado em que o usuário aceita o ambiente virtual como o seu quadro de referência primário
Social	Presença Social, Coexistência ou Copresença	Com quem estou?	Experiência de estar na presença de outra pessoa ou de uma inteligência no ambiente virtual.
Pessoal	Presença do Eu (Self-Presence) ou Incorporação (Embodiment)	Quem sou eu aqui?	Consciência de uma identidade ou de um corpo virtual (esquema corporal) na simulação.
Ambiental	Ilusão de Plausibilidade (Psi), Coerência ou Julgamento de Realidade	O mundo é consistente?	Percepção de que os eventos e as leis que regem o ambiente virtual são plausíveis e consistentes.
Envolvimento	Alocação de Atenção, Envolvimento Cognitivo ou Absorção	No que presto atenção?	Foco dos recursos perceptivos e cognitivos no estímulo virtual, ao desconsiderar o ambiente físico.
Agência	Ações Possíveis, Agência ou Interatividade	O que posso fazer?	Capacidade percebida de agir, de manipular objetos e de ter efeito no ambiente virtual.

Fonte: o autor.

### 2.4.3 Instrumentos de mensuração de presença

A mensuração da presença constitui um desafio metodológico em virtude da natureza subjetiva e multidimensional do construto. Embora métricas objetivas surjam como alternativas complementares, a literatura concentra a coleta de dados em métodos subjetivos baseados em autorrelatos realizados após a exposição ao sistema. Esses métodos quantificam a percepção do usuário por meio de ferramentas psicométricas que buscam padronizar a comparação entre sistemas tecnológicos e validar a eficácia dos ambientes virtuais.

As abordagens predominantes utilizam questionários estruturados fundamentados em escalas de Likert, tipicamente de 1 a 5 ou de 1 a 7 pontos. Essas ferramentas aferem, com maior incidência, a intensidade da sensação de localização, o realismo do cenário e a fluidez da interação. Para compreender a experiência em sistemas de realidade virtual, este trabalho busca instrumentos que ampliem o escopo avaliativo para além da dimensão espacial, integrando fatores como o engajamento cognitivo e emocional, a satisfação e o senso de agência do indivíduo no ambiente digital.

As seções subsequentes apresentam os instrumentos psicométricos de maior incidência e validação na literatura acadêmica. A análise detalha as propriedades e as limitações dessas ferramentas consolidadas, fornecendo o arcabouço para compreender a mensuração subjetiva da presença.

#### **Slater–Usoh–Steed Questionnaire (SUS)**

O SUS foi desenvolvido por Slater, Usoh e Steed em 1994 [139] para avaliar a realidade virtual, especificamente o conceito de “profundidade de presença” (*depth of presence*). Consiste em seis itens respondidos em escala Likert de 1 a 7, com foco principal na sensação de “estar lá” e na lembrança do ambiente virtual como local visitado. Os indicadores de presença utilizados pelo SUS incluem: a sensação de “estar lá”, o grau em que o ambiente virtual se torna mais “real” ou “presente” do que a realidade cotidiana, e a “localidade”, ou seja, a extensão em que o ambiente virtual é considerado um “lugar” visitado, em vez de apenas um conjunto de imagens.

Exemplos de itens são: “Em que medida houve momentos durante a experiência em que o ambiente virtual foi a realidade para você?” e “Quando você recorda a experiência, você pensa no ambiente virtual mais como imagens que viu ou mais como um lugar que visitou?” [139].

As vantagens do SUS incluem seu tamanho reduzido, ampla citação na literatura e facilidade de aplicação após a experiência. Contudo, o questionário mede predominantemente a presença espacial e a competição perceptiva entre os mundos real e virtual,

mas falha em capturar dimensões sociais, agentivas e corporais essenciais a um modelo abrangente de presença.

Embora a abreviação “SUS” seja, em muitos trabalhos, utilizada principalmente para se referir à *System Usability Scale*, a literatura também emprega amplamente o termo para designar o *Slater–Usoh–Steed Questionnaire*, associado à avaliação de presença em ambientes virtuais. Assim, para evitar ambiguidade terminológica, neste trabalho a sigla SUS será utilizada exclusivamente para se referir ao Slater–Usoh–Steed Questionnaire, enquanto o instrumento de usabilidade será sempre mencionado por extenso como System Usability Scale [96].

### **Presence Questionnaire (PQ)**

Proposto originalmente em 1998 [158] e revisado em 2005 por Witmer, Jerome e Singer [157], o PQ é um dos questionários mais antigos e amplamente utilizados para avaliar a experiência de presença em ambientes de realidade virtual. A teoria subjacente ao PQ sugere que a presença depende da capacidade do usuário de focar a atenção em estímulos específicos do ambiente virtual, ignorando as distrações do ambiente em que se encontra. Esse foco resulta em envolvimento psicológico e imersão, considerados necessários para a experiência de presença. Os autores concebem a presença como um equilíbrio entre a localização física e mental do usuário, em que o foco da atenção determina o envolvimento e a percepção de presença.

O PQ contém 19 itens avaliados em escala de 1 a 7, com exemplos como: “Quão envolvido você estava na experiência do ambiente virtual?”, “Você estava envolvido na tarefa experimental a ponto de perder a noção do tempo?”, “O quanto as suas experiências no ambiente virtual pareceram consistentes com as suas experiências no mundo real?” e “Quão rapidamente você se ajustou à experiência do ambiente virtual?”

Embora o PQ original de Witmer e Singer (1998) não tenha definido explicitamente subdimensões, análises subsequentes indicaram três fatores principais subjacentes aos itens do questionário: presença espacial, envolvimento e realismo. Esses fatores emergiram em análises psicométricas como aspectos fundamentais medidos pelo PQ [157].

O PQ é frequentemente associado ao Immersive Tendencies Questionnaire (ITQ), também desenvolvido por Witmer e Singer (1998), que avalia as tendências internas de cada indivíduo para se tornar envolvido ou imerso em atividades cotidianas, o que ajuda a prever o nível de presença que sentirão no ambiente virtual. Algumas seções do ITQ são usadas de forma complementar para avaliar a presença [12]. Apesar do tempo decorrido desde a sua criação, o PQ permanece relevante na pesquisa atualmente, em razão da base conceitual que fundamenta seu desenvolvimento.

### **Igroup Presence Questionnaire (IPQ)**

O Questionário Igroup Presence (IPQ), desenvolvido por Schubert, Friedmann e Regenbrecht em 2001<sup>3</sup>, fundamenta-se na teoria da cognição incorporada, segundo a qual a presença emerge da construção, pelo usuário, de um modelo mental espaço-funcional do ambiente virtual [130]. O desenvolvimento do IPQ envolveu a combinação de perguntas extraídas de questionários de presença já existentes e de novos itens, totalizando entre 13 e 14 questões avaliadas em escala típica de 1 a 7, embora versões com outras escalas também possam ser encontradas.

O IPQ avalia três fatores principais:

- **Presença Espacial:** reflete a clássica sensação de “estar lá” no ambiente virtual e a percepção de agir nesse espaço. Exemplo de item: “No mundo gerado por computador, tive a sensação de ‘estar lá’ ”.
- **Envolvimento:** refere-se à atenção e absorção do usuário no mundo virtual, incluindo a consciência do ambiente real, com itens codificados inversamente. Exemplo: “Concentrei-me apenas no espaço virtual”.
- **Realidade:** avalia o realismo percebido do ambiente virtual e sua consistência com a experiência do mundo real. Exemplo: “Quão real o mundo virtual pareceu para você?”.

Adicionalmente, o IPQ contempla um fator de segunda ordem denominado "PRES"(presença geral), que integra essas três dimensões principais. O instrumento distingue claramente a presença espacial e o realismo. Embora contribua para a avaliação dos fatores que sustentam a presença, alguns autores argumentam que o IPQ pode não capturar integralmente a experiência subjetiva da presença, ao contrário de escalas mais centradas na imersão psicológica [86].

### **Holistic Presence Questionnaire (HPQ)**

O Holistic Presence Questionnaire (HPQ) é um instrumento recente de autorrelato desenvolvido para medir a experiência de presença em ambientes de realidade aumentada (RA), realidade mista (RM) e realidade virtual (RV). Proposto por Alexander Toet et al. em 2021 [149], o HPQ surge para preencher uma lacuna, uma vez que as escalas convencionais de presença geralmente não se aplicam adequadamente a contextos de RA e RM. O questionário visa avaliar a “sensação de estar lá” e a experiência subjetiva de presença em ambientes mediados, sendo projetado para abranger simultaneamente ambientes multissensoriais (visuais, auditivos, táteis e olfativos) em toda a extensão do

---

<sup>3</sup><http://igroup.org/pq/ipq/index.php>

continuum realidade-virtualidade. A premissa do HPQ é que a presença em RA e RM envolve a capacidade de interação direta e natural com todos os elementos do ambiente, tanto reais quanto mediados.

O HPQ adota uma abordagem holística, utilizando um único item para avaliar cinco níveis distintos de processamento psicológico no cérebro humano, conforme uma estrutura conceitual de estímulos ambientais multissensoriais. Esses níveis são:

- **Nível Sensorial (Fidelidade):** Reflete a impressão de ver, ouvir, sentir ou cheirar o ambiente diretamente. Exemplo: “O ambiente representado parece natural”.
- **Nível Afetivo ou Emocional (Plausibilidade Interna):** Avalia a coerência do estímulo multissensorial com o modelo mental do usuário, incluindo expectativas e memórias sobre o ambiente representado. Exemplo: “Minhas sensações são consistentes e concordam com o ambiente representado”.
- **Nível Cognitivo (Plausibilidade Externa):** Refere-se à percepção de fidelidade, realismo ou à ilusão de que o ambiente é autêntico e visitável. Exemplo: “O ambiente representado parece real”.
- **Nível Comportamental (Agência):** Mede o grau em que os elementos do ambiente permitem comportamentos naturais, sem limitações. Exemplo: “Minha interação com o ambiente representado parece realista”.
- **Nível de Raciocínio (Realismo da Representação):** Avalia como o realismo da representação multissensorial influencia o raciocínio do usuário de forma análoga ao ambiente não mediado. Exemplo: “Meus pensamentos no ambiente parecem naturais”.

A principal vantagem do HPQ reside em sua abrangência, que contempla aspectos psicológicos essenciais para uma experiência de presença convincente em ambientes de RA e RM. Seus itens são concisos, o que minimiza a interferência na experiência do usuário, tornando-o adequado para avaliações repetidas ao longo da exposição, sem comprometer a ilusão de presença [12].

### **Self-Presence Questionnaire (SPQ)**

O Self-Presence Questionnaire (SPQ) foi desenvolvido por Rabindra Ratan e Béatrice Hasler por volta de 2009 [120] para avaliar especificamente a dimensão da presença pessoal (*self-presence*), concebida como a extensão em que o usuário incorpora o avatar virtual como parte funcional do próprio corpo e da própria identidade. O instrumento surgiu para preencher uma lacuna na literatura: a ausência de medidas padronizadas que capturassem a relação entre o "eu" físico, emocional e autobiográfico e sua representação digital.

A estrutura do SPQ fundamenta-se na teoria neurocognitiva de Antonio Damasio sobre os três níveis hierárquicos do 'eu'. Para operacionalizar esse modelo, o instrumento utiliza itens respondidos em escala Likert de 1 a 7, os quais são distribuídos em três subescalas inter-relacionadas:

- **Proto Self-Presence:** avalia a integração do avatar ao esquema corporal do usuário, refletindo a extensão a que os movimentos e as sensações do avatar são percebidos como parte do próprio corpo físico. Exemplo: “Ao usar seu avatar, você sente que está fisicamente próximo dos objetos e de outros avatares?”
- **Core Self-Presence:** mede a ressonância emocional entre os eventos vivenciados pelo avatar e as respostas afetivas do usuário, capturando a extensão em que as interações virtuais geram emoções autênticas. Exemplo: “Quando eventos felizes acontecem com seu avatar, até que ponto você se sente feliz?”
- **Extended Self-Presence:** avalia a importância da identidade virtual para a narrativa autobiográfica do usuário, refletindo a extensão com que o avatar representa aspectos significativos da identidade pessoal e social. Exemplo: “Até que ponto a aparência do seu avatar representa algum aspecto da sua identidade?”

A principal vantagem do SPQ reside em sua fundamentação teórica robusta, baseada na neurociência, o que permite uma avaliação que transcende a mera localização espacial. O instrumento demonstra alta consistência interna e permite distinguir diferentes tipologias de interação, como o foco motor em simuladores e a projeção de identidade em ambientes sociais. Para esta pesquisa, o SPQ é particularmente relevante por enfatizar a dimensão pessoal da experiência, aspecto frequentemente negligenciado por instrumentos tradicionais focados apenas na presença espacial ou no realismo ambiental.

### **Virtual Therapist Alliance Scale (VTAS)**

Um questionário que merece destaque, considerando o foco específico desta pesquisa, é o Virtual Therapist Alliance Scale (VTAS) foi desenvolvido por Alexander Miloff e colaboradores em 2020 [96] para avaliar a aliança terapêutica em tratamentos de realidade virtual automatizados conduzidos por terapeutas virtuais corporificados. O instrumento busca capturar a qualidade da relação entre o paciente e o agente virtual, simulando elementos relacionais e fatores comuns presentes na terapia face a face, como mostrado na Figura 2.2.

A estrutura do questionário consiste em 17 itens pontuados em uma escala visual que varia de 0 a 4. O VTAS apresenta uma solução de dois fatores principais que explicam a variância da experiência do usuário. O Fator 1 agrupa as dimensões de tarefa, objetivo e copresença, enquanto o Fator 2 concentra os itens voltados para vínculo e empatia. Os exemplos de itens variam conforme as vertentes destacadas:

- **Fator 1:** os itens incluem questões como “A presença do terapeuta virtual me ajudou a alcançar meus objetivos” (objetivo), “O encorajamento do terapeuta virtual me ajudou” (tarefa), “Senti que o terapeuta virtual compartilhou o ambiente virtual comigo” (copresença) e “Senti que o terapeuta virtual entendia meus medos”.
- **Fator 2:** destacam-se questões como “Experimentei o terapeuta virtual como amigável” (vínculo) e “Experimentei o terapeuta virtual como caloroso” (vínculo).

As vantagens do VTAS incluem propriedades psicométricas sólidas e a capacidade de prever o sucesso clínico do tratamento em avaliações de acompanhamento. O instrumento é superior a adaptações de escalas tradicionais por considerar as sutilezas da interação com agentes artificiais e incluir a presença social como parte da aliança. Assim, ele é uma ferramenta prática e específica para profissionais que querem monitorar, compreender e aprimorar a interação e o engajamento nas intervenções digitais, ajudando a tornar os tratamentos mais eficazes.

Figura 2.2: Personificação física do terapeuta virtual, baseada principalmente na voz.



Fonte:[96].

### Telehealth Usability Questionnaire (TUQ)

Também é possível encontrar questionários amplamente utilizados na telemedicina, que podem ser empregados para examinar diversos aspectos dessa modalidade. Entre os instrumentos mais utilizados nesse cenário, destaca-se o Telehealth Usability Questionnaire (TUQ), introduzido formalmente por Parmanto em 2016 [109], cujo objetivo principal é avaliar a usabilidade de serviços de telemedicina [54]. O TUQ mensura a qualidade da interface do usuário no computador, a qualidade da interação na telessaúde e as características dos próprios serviços.

A estrutura do TUQ é composta por 21 itens fundamentados em uma escala do tipo Likert de 1 a 7, para mensurar a usabilidade de serviços de telessaúde. O instrumento é aplicado tanto a pacientes quanto a profissionais de saúde, permitindo avaliar sistemas de videoconferência, plataformas baseadas em computador e dispositivos móveis. Os itens

distribuem-se em seis dimensões teóricas que investigam a qualidade da interface e da interação remota:

- **Utilidade (usefulness):** avalia a percepção do usuário sobre como o sistema melhora o acesso ou atende às necessidades de saúde. Exemplo de item: “O sistema de telessaúde melhora meu acesso aos serviços de saúde”.
- **Facilidade de uso e aprendizado (ease of use and learnability):** foca na simplicidade de operação e na rapidez com que o usuário se torna produtivo. Exemplo de item: “Foi simples utilizar este sistema”.
- **Qualidade da interface (interface quality):** examina a interação com os elementos gráficos e o quão agradável é a navegação. Exemplo de item: “A maneira como interajo com este sistema é agradável”.
- **Qualidade da interação (interaction quality):** mensura a eficácia da comunicação entre paciente e clínico, incluindo áudio e vídeo. Exemplo de item: “Eu pude falar facilmente com o clínico usando o sistema de telessaúde”.
- **Confiabilidade (reliability):** verifica a capacidade de recuperação de erros e a estabilidade do sistema. Exemplo de item: “Sempre que cometi um erro ao usar o sistema, consegui recuperar-me de forma fácil e rápida”.
- **Satisfação e uso futuro (satisfaction and future use):** aborda o conforto geral com a tecnologia e a intenção de utilizá-la novamente. Exemplo de item: “No geral, estou satisfeito com este sistema de telessaúde”.

A elaboração do TUQ considerou itens já presentes em questionários como o Telemedicine Satisfaction Questionnaire (TSQ), o Telemedicine Satisfaction and Usefulness Questionnaire (TSUQ) e o Technology Acceptance Model (TAM). A necessidade de um novo instrumento surgiu devido à limitação das ferramentas existentes, projetadas principalmente para tecnologias anteriores, como sistemas dedicados de videoconferência, que não ofereciam interfaces complexas para interação direta. Questionários prévios eram predominantemente voltados à avaliação da satisfação do paciente, apresentando lacunas quanto à avaliação da qualidade da interface, aspecto que se tornou relevante com o advento de sistemas baseados em software [109].

Embora o TUQ não meça diretamente a “presença” como um elemento da realidade virtual, ele avalia aspectos cruciais da usabilidade de sistemas de telemedicina, como a qualidade da interface e a qualidade da interação, que são elementos fundamentais para facilitar uma experiência imersiva e engajadora. A alta qualidade nesses aspectos, medida pelo TUQ, pode, por sua vez, contribuir para um maior senso de conexão e, de certa forma, uma “presença” na interação remota, tornando-a mais semelhante a um encontro presencial.

## Sínteses dos Instrumentos

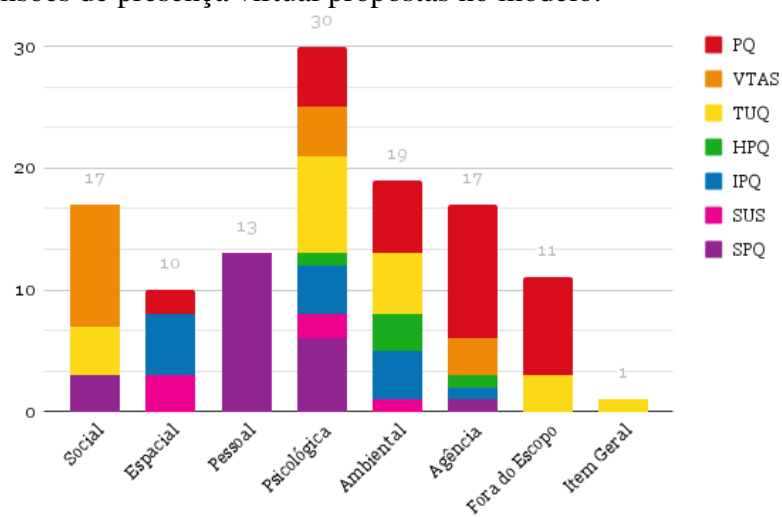
A análise dos instrumentos apresentados evidencia a predominância de abordagens baseadas no autorrelato retrospectivo para a mensuração da presença. Embora ferramentas como o SUS e o IPQ sejam consolidadas para a avaliação da dimensão espacial, e o SPQ e o VTAS ofereçam métricas robustas para as dimensões pessoal e social, respectivamente, observa-se uma fragmentação metodológica na literatura. Nenhum instrumento isolado contempla a integralidade das demandas avaliativas da telerreabilitação com exergames, que exige a correlação entre a imersão tecnológica, a aliança terapêutica e o desempenho motor. Além disso, a dependência exclusiva de questionários pós-experiência limita a capacidade de monitoramento dinâmico, pois não captura as flutuações do estado de presença durante a execução da tarefa.

Diante desse cenário, a presente proposta não visa à criação de novos itens psicométricos do zero, mas sim à integração estratégica de indicadores validados. O modelo avaliativo utiliza itens adaptados dos instrumentos IPQ, PQ, HPQ, SPQ, VTAS e TUQ para compor a camada subjetiva da análise multimodal. A seleção contempla as dimensões espacial, social, pessoal, ambiental, de agência e de envolvimento da experiência imersiva em telerreabilitação com exergames. Essa abordagem reduz as limitações de ferramentas unidimensionais ao integrar diferentes aspectos à percepção de presença.

A Figura 2.3 ilustra a distribuição quantitativa dos itens selecionados para compor o instrumento subjetivo do modelo. Nota-se que a compilação busca um equilíbrio entre as dimensões, garantindo que aspectos críticos para a reabilitação, como a agência (controle motor) e a presença social (vínculo com o terapeuta), tenham peso avaliativo equivalente ao da presença espacial tradicional. Essa base subjetiva será, posteriormente, vinculada com métricas objetivas, visando superar as limitações do viés de autorrelato.

A sistematização de conceitos, perspectivas e instrumentos de mensuração subjetiva fundamenta a compreensão da presença como um construto multidimensional. Ao consolidar as bases teóricas e as ferramentas psicométricas disponíveis, este capítulo estabelece os critérios necessários para investigar a aplicação prática dessas métricas na literatura científica. O capítulo seguinte apresenta um mapeamento sistemático destinado a identificar como as publicações atuais integram a presença em sistemas de telerreabilitação com exergames imersivas, revelando as tendências e as lacunas metodológicas que sustentam o desenvolvimento do modelo proposto.

Figura 2.3: Distribuição quantitativa dos itens dos questionários psicométricos selecionados por dimensões de presença virtual propostas no modelo.



Fonte: o autor.

## Tecnologias Imersivas na Telerreabilitação com Exergames

---

O desenvolvimento de tecnologias imersivas reconfigura a telerreabilitação com a incorporação de exergames como recursos terapêuticos remotos [3]. Os sistemas englobam dispositivos de realidade virtual, realidade aumentada, ambientes interativos e plataformas gamificadas que fornecem estímulos multissensoriais. Essas tecnologias viabilizam o controle de variáveis do exercício terapêutico e exigem o envolvimento ativo do paciente. A adaptação dos estímulos ao paciente favorece a adesão clínica e a execução da reabilitação remota [74].

O mapeamento sistemático da literatura engloba modalidades e dispositivos de visualização imersivos e não imersivos aplicados à telerreabilitação com exergames. O método mapeia as propostas de intervenção e os resultados clínicos, funcionais, de engajamento e de presença virtual. A análise identifica tendências tecnológicas, limitações metodológicas e lacunas na pesquisa. A inclusão inicial de múltiplas tecnologias estabelece o panorama do campo de estudo, definindo a base teórica para a etapa subsequente da pesquisa, que restringe o foco aos dispositivos de realidade virtual e à avaliação de presença.

Este capítulo detalha os procedimentos metodológicos de busca, seleção, definição de critérios de elegibilidade e extração de dados. A síntese dos achados empíricos e a análise crítica da literatura fundamentam a estruturação do modelo avaliativo proposto neste trabalho.

### 3.1 Mapeamento Sistemático

A realização desta pesquisa envolveu a condução de um mapeamento sistemático da literatura, em conformidade com as diretrizes PRISMA<sup>1</sup> e seguindo a abordagem metodológica delineada por Nakagawa et al. [37]. O processo foi estruturado em três

---

<sup>1</sup><https://www.prisma-statement.org/>

etapas principais: (I) elaboração do protocolo de revisão, que incluiu a definição das perguntas de pesquisa, a identificação de palavras-chave e sinônimos, a elaboração da estratégia de busca e o estabelecimento dos critérios de inclusão e exclusão dos estudos; (II) execução da revisão propriamente dita, abrangendo as buscas, a seleção dos trabalhos relevantes, a extração e análise dos dados dos estudos selecionados; e (III) apresentação e discussão dos resultados, sintetizando os achados e as respostas às perguntas de pesquisa formuladas. O gerenciamento de todas as fases foi facilitado pelo uso da plataforma Parsifal<sup>2</sup>, que contribuiu para a organização, a execução e o controle do processo metodológico.

### 3.1.1 Pergunta de Pesquisa

A questão central que orienta esta pesquisa é: **“Como as tecnologias imersivas estão sendo aplicadas e avaliadas no contexto da telerreabilitação com exergames?”**. Essa pergunta direciona a revisão, cujo objetivo é mapear as soluções tecnológicas adotadas e as abordagens de avaliação referentes aos dados clínicos capturados, à adesão, ao engajamento, à presença, à interação e a outros desfechos relevantes.

O estudo abrange uma ampla variedade de dispositivos e plataformas, tais como dispositivos de realidade virtual, sistemas de realidade aumentada e ambientes interativos baseados em sensores. Além disso, examina diferentes formas de aplicação dos exergames na telerreabilitação, sem impor restrições quanto aos protocolos, às patologias ou aos perfis dos pacientes abordados nos estudos analisados. São investigados os modelos, métodos e estratégias empregados para integrar tecnologias imersivas à prática remota, bem como os procedimentos, métricas e instrumentos utilizados para avaliar os resultados desejados. Esse mapeamento possibilita a identificação de tendências tecnológicas emergentes, de vantagens e benefícios observados, de limitações e desafios relatados, bem como de lacunas metodológicas e de oportunidades para pesquisas futuras.

### 3.1.2 Palavras-Chaves, String de Busca e Estratégia de Pesquisa

Foram selecionadas palavras-chave de alta frequência e relevância na literatura científica, abrangendo os três principais eixos do estudo: telerreabilitação, tecnologias imersivas e exergames. Para a elaboração da *string* de busca, essas palavras-chave foram organizadas em categorias, o que possibilita a combinação de termos relacionados a cada eixo de investigação.

- **Telerreabilitação:** telerehabilit\*, "tele rehabilitat\*", "remote rehabilitat\*", "virtual rehabilitat\*"

---

<sup>2</sup><https://parsif.al/>

- **Tecnologias imersivas:** "virtual realit\*", "augmented realit\*", "mixed realit\*", "extended realit\*", "immersiv\* technolog\*", "head-mounted display\*", "virtual environment\*", "interact\* environment\*", VR, AR, MR, XR
- **Exergames:** exergame\*, "rehabilitat\* games", "exercise game\*", "movement\* game\*", "motion game\*", "physical game\*", "motion-based game\*", "movement-based game\*"

O termo string de busca final adotado foi:

*((telerehabilit\* OR "tele rehabilitat\*"OR "remote rehabilitat\*"OR "virtual rehabilitat\*") AND ("virtual realit\*"OR "augmented realit\*"OR "mixed realit\*"OR "extended realit\*"OR "immersiv\* technolog\*"OR "head-mounted display\*"OR "virtual environment\*"OR "interact\* environment\*"OR VR OR AR OR MR OR XR) AND (exergame\* OR "rehabilitat\* games"OR "exercise game\*"OR "movement\* game\*"OR "motion game\*"OR "physical game\*"OR "motion-based game\*"OR "movement-based game\*"))*

Adicionalmente, foi aplicado um filtro temporal, limitando a busca a publicações a partir de 2020, com o objetivo de captar tendências recentes e assegurar a atualidade da revisão.

A busca foi conduzida em julho de 2025, diretamente nas principais bases de dados relevantes para a temática, a saber: IEEE Xplore<sup>3</sup>; ACM Digital Library<sup>4</sup>; Scopus<sup>5</sup>; Web of Science<sup>6</sup>; e PubMed<sup>7</sup>. A estratégia de busca não incorporou filtros por subtemas ou por termos específicos de desfecho, como "presença virtual" ou "instrumentos de avaliação", por duas razões fundamentais. Primeiro, testes preliminares indicaram que a inclusão desses termos restringia excessivamente os resultados, podendo excluir estudos relevantes. Segundo, o volume de artigos recuperados com os eixos centrais (telerreabilitação, tecnologias imersivas e exergames) mostrou-se gerenciável para análise manual, garantindo a representatividade do estado da arte sem o risco de perda de dados por especificidade semântica. Todos os metadados foram considerados nas buscas, exceto na base Scopus, onde, devido às limitações do próprio banco de dados, a busca foi restrita aos campos Título, Resumo e Palavras-chave.

<sup>3</sup><https://ieeexplore.ieee.org/>

<sup>4</sup><https://dl.acm.org/>

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

<sup>6</sup><http://www.isiknowledge.com>

<sup>7</sup><https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>

### 3.1.3 Critérios de Inclusão e Exclusão

Nesta pesquisa, adotou-se como critério principal de inclusão: **O artigo deve ser uma pesquisa primária, apresentando resultados empíricos sobre o uso de tecnologias imersivas e de exergames na telerreabilitação.**

Foram excluídos os estudos que atenderam a um ou mais dos critérios a seguir:

- E1** Caracterizaram-se como revisão sistemática, meta-análise ou estudo secundário;
- E2** Não constituíram estudos empíricos;
- E3** Não se relacionaram ao contexto de reabilitação;
- E4** Não envolveram tecnologias imersivas ou exergames;
- E5** Ausência do componente de telerreabilitação;
- E6** Foram duplicatas ou versões anteriores de estudos já incluídos;
- E7** Texto completo do trabalho indisponível para acesso;
- E8** Publicação anterior a 2020 até julho de 2025;
- E9** Publicação não realizada em inglês.

Os critérios foram aplicados iterativamente ao longo do processo de seleção dos estudos recuperados na busca, possibilitando a identificação dos trabalhos mais pertinentes à questão de pesquisa proposta. Essa abordagem assegura o foco na produção científica recente e alinhada ao tema das tecnologias imersivas em exergames para telerreabilitação, ao mesmo tempo em que elimina duplicidades, estudos secundários e trabalhos que apresentam limitações metodológicas ou que estão fora do escopo da revisão.

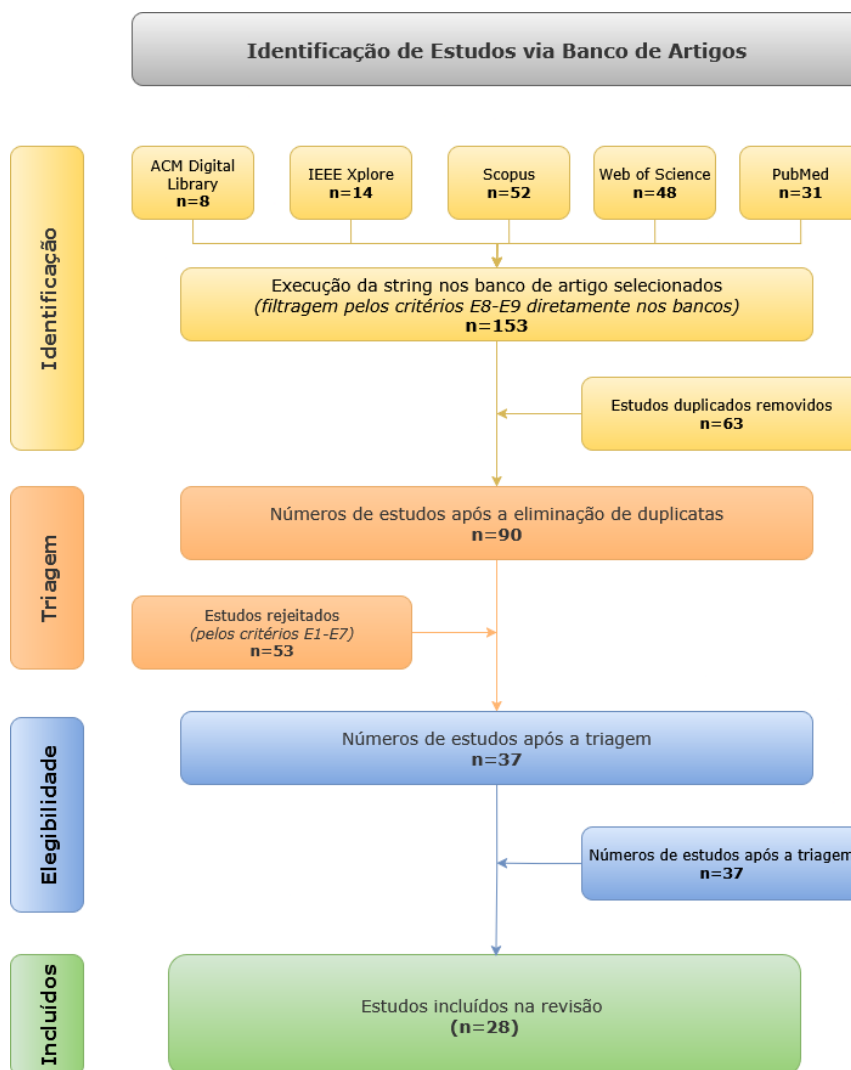
## 3.2 Condução

A seleção dos estudos foi realizada em quatro etapas: busca e identificação, triagem, elegibilidade e inclusão. A Figura 3.1 apresenta o fluxo do processo de seleção dos estudos para a revisão sistemática.

Inicialmente, as buscas foram conduzidas nas bases IEEE Xplore, ACM Digital Library, Scopus, Web of Science e PubMed, resultando, respectivamente, em 14, 8 (excluídos os *Proceedings Series*), 52, 48 e 31 estudos. Os artigos obtidos foram organizados na ferramenta Parsifal, o que possibilitou a sistematização das referências e a definição das etapas subsequentes.

Na etapa de identificação, foram exportados todos os resultados das buscas, totalizando 153 artigos. A maior sobreposição de estudos ocorreu entre as bases Scopus, Web of Science e PubMed. Essas duplicatas foram eliminadas com o auxílio da plataforma

Figura 3.1: O diagrama de fluxo ilustra o processo sequencial pelo qual os estudos foram identificados, selecionados, avaliados e incluídos nesta revisão.



Fonte: o autor.

Parsifal, resultando em 90 registros únicos que seguiram para as fases subsequentes da análise.

A triagem consistiu na exclusão de artigos de revisão, meta-análises, estudos não empíricos, textos fora do escopo (por ausência do componente mínimo relacionado a tecnologias imersivas, exergames, telerreabilitação ou informações mínimas para avaliação geral do estudo), duplicatas não detectadas na etapa anterior e textos em idiomas diferentes do inglês, por meio da leitura do título, do resumo e das palavras-chave. Após essa triagem preliminar, permaneceram 22 artigos classificados como fortemente elegíveis, 10 como elegíveis e 5 como fracamente elegíveis. Além disso, foram rejeitados 27 revisões e meta-análises, 2 registros não classificados como artigos e 26 artigos fortemente excluídos segundo os critérios estabelecidos.

A avaliação de elegibilidade foi realizada por meio da leitura integral dos estudos aprovados na triagem. Nessa etapa, 2 artigos foram excluídos por não empregar tecnologias imersivas suficientes, 6 por indisponibilidade do texto completo e 1 por ausência do componente de telerreabilitação. Os estudos selecionados seguiram para a extração de dados e a análise dos resultados.

Tabela 3.1: Estudos aceitos por banco de artigos

Base de Artigos	Aceitos	Citações
ACM Digital Library	1	[118]
IEEE Xplore	2	[108],[104]
Scopus	4	[68],[98],[154],[31]
Web Of Science	18	[48],[78], [125], [160], [92],[84], [85], [144], [51], [8],[22],[46], [6], [119], [52],[28],[13],[155]
PubMed	3	[15],[3],[10]

Fonte: o autor.

As referências e a distribuição dos estudos do banco de dados estão listadas na Tabela 3.1. Os estudos foram lidos e analisados para responder às perguntas propostas na pesquisa. Além disso, a extração foi realizada usando um formulário estruturado, também para esse fim.

### 3.3 Resultados e Discussão

A análise dos estudos selecionados foi estruturada para responder à questão central desta revisão: **“Como as tecnologias imersivas estão sendo aplicadas e avaliadas no contexto da telerreabilitação com exergames?”**. Os achados do mapeamento são apresentados a seguir, organizados pelos eixos temáticos que detalham as soluções, as métricas e as limitações do campo.

#### 3.3.1 Estado Atual e Propósito da Telerreabilitação Imersiva

A telerreabilitação é impulsionada pela demanda por intervenções eficientes e acessíveis. A literatura indica que tecnologias imersivas (realidade virtual, aumentada e mista) integradas a exergames consolidam-se como ferramentas terapêuticas versáteis [15]. O objetivo central dessas abordagens é aprimorar a terapia tradicional, transformando exercícios monótonos em experiências imersivas e motivadoras. Essa dinâmica

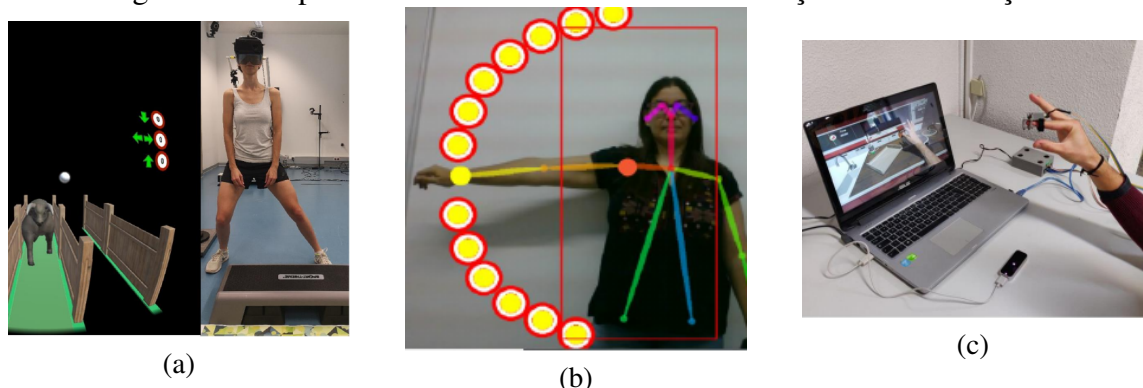
viabiliza a execução de protocolos clínicos no domicílio do paciente sob supervisão remota [68, 22].

### 3.3.2 Hardware, Software e Aplicações Práticas

Os ambientes de telerreabilitação empregam diversos consoles e sensores de captura de movimento. Destacam-se o *Microsoft Kinect* [48, 15, 3, 160, 154, 31, 46, 6, 119], o *Nintendo Wii Fit* [48, 31, 8], sensores vestíveis [119, 13, 98, 92, 108, 51, 22, 52] e o *Leap Motion Controller* [52, 85, 22, 104]. Soluções mais acessíveis utilizam *smartphones*, *tablets* [51, 108, 15, 92, 125, 10, 144] e *webcams* (câmeras RGB) [125, 104, 118, 51, 108, 46]. Observa-se também a adoção de sistemas robóticos [78, 22, 52] e dispositivos *standalone* de realidade virtual [92, 10, 98, 28, 13, 104].

As aplicações variam conforme a complexidade do sistema. O sistema *ExerCam*, por exemplo, combina uma câmera RGB com detecção de pose (OpenPose) para projetar um espelho de realidade aumentada, monitorado por interface web pelo terapeuta [125]. O modelo *TG/AR Walker* integra *headsets* de realidade aumentada a *smartphones* (via sensores IMU e ARCore) para reabilitação pós-artroplastia [51]. Outro modelo associa o rastreamento das mãos via *LeapMotion* a um dedal háptico customizado, fornecendo vibração e pressão durante exercícios em realidade virtual no *Unity 3D* para membros superiores [52] (Figura 3.2). O propósito dessas ferramentas inclui a captura biomecânica, a gamificação, a personalização de parâmetros, o fornecimento de *feedback* fisiológico e o monitoramento remoto.

Figura 3.2: Dispositivos e sistemas utilizados nas soluções de reabilitação



### 3.3.3 Limitações Técnicas e Vantagens da Realidade Virtual

A dependência de múltiplos hardwares eleva os custos e limita o acesso às tecnologias imersivas. Os estudos apontam barreiras como a necessidade de calibração frequente [48, 3, 125], a precisão reduzida de sensores em ambientes domésticos [51, 3, 92] e a sensibilidade a interferências de iluminação [3, 104]. Observa-se também desconforto físico associado ao uso prolongado [68, 22, 13, 28], barreiras cognitivas de operação [46, 48] e exigência de conexão estável [160, 6].

Apesar do desconforto físico relatado, os dispositivos *standalone* de realidade virtual contornam diversas limitações operacionais. A oclusão visual proporciona imersão total e concentração exclusiva no ambiente terapêutico. A captura espacial em 3D, combinada com *feedback* sensorial multimodal, viabiliza o controle autônomo pelo paciente, reduzindo a necessidade de calibrações complexas ou suporte presencial contínuo para configuração.

### 3.3.4 Mensuração da Presença Virtual e Instrumentos Clínicos

A presença virtual afeta o desempenho em ambientes mediados. Contudo, a literatura analisada carece de definições formais e protocolos quantitativos padronizados para o construto. Os estudos priorizam fatores como engajamento, interação contínua e percepção de progresso [48, 10]. Quando reportada, a presença é avaliada de forma genérica por meio de questionários como o *iGroup Presence Questionnaire* [92], *System Usability Scale* [144, 125] ou *Networked Minds Social Presence Questionnaire* [85]. A pesquisa frequentemente induz a presença a partir de inferências indiretas sobre a usabilidade ou a adesão, sem investigar a dimensão do fenômeno.

O foco metodológico atual concentra-se na validação de usabilidade de sistemas [68, 144] e na análise do desempenho motor. Utilizam-se questionários subjetivos para aferir aceitação, como o TAM e o *System Usability Scale*. O desfecho clínico é mensurado por escalas objetivas de reabilitação física, como *Fugl-Meyer* [6], *Berg Balance Scale* [144] e *Range of Motion* (ROM) [125, 10, 51, 160].

Constata-se a lacuna metodológica referente à ausência de protocolos que correlacionem as nuances da presença virtual à qualidade da aliança terapêutica e ao engajamento em exergames. O desenvolvimento de modelos multidimensionais torna-se necessário para integrar as variáveis subjetivas da experiência imersiva aos dados biomecânicos e operacionais em telerreabilitação.

## 3.4 Síntese

A integração de tecnologias imersivas e exergames na telerreabilitação viabiliza intervenções remotas e o monitoramento contínuo de pacientes com demandas motoras e neurológicas. O uso conjunto de captura de movimento e ambientes virtuais permite a extração de métricas objetivas e a adaptação dos parâmetros clínicos durante a execução do exercício.

A literatura aponta que a adoção em larga escala dessas ferramentas esbarra em restrições operacionais, como a complexidade de configuração técnica e a ausência de padronização no tratamento de dados heterogêneos. Tais fatores dificultam a escalabilidade das soluções e limitam a capacidade do profissional de saúde de realizar ajustes terapêuticos baseados em dados precisos.

No eixo da avaliação, o mapeamento sistemático evidencia uma fragmentação metodológica no estado da arte. Os estudos investigam a usabilidade ou o desempenho motor de forma isolada e negligenciam a medição estruturada da presença virtual. A sensação de localização, a agência do usuário e a plausibilidade do ambiente digital afetam a motivação e a adesão do paciente. Contudo, faltam métodos que correlacionem o estado de imersão à qualidade da aliança terapêutica e aos resultados clínicos.

Para suprir essa lacuna científica, o presente trabalho contribui diretamente para o estado da arte ao propor um modelo de mensuração multidimensional. A estrutura avaliativa formulada consolida os indicadores psicométricos de presença, os dados biomecânicos e as métricas de usabilidade em um protocolo unificado. O capítulo seguinte detalha o desenvolvimento e a arquitetura desse modelo, projetado para padronizar a avaliação da experiência imersiva em sistemas de telerreabilitação.

# Modelo de Avaliação Multidimensional da Presença em Telerreabilitação com Exergames Imersivos

---

## 4.1 Visão Geral do Modelo

A avaliação da presença em ambientes de realidade virtual imersiva transcende a noção de transporte espacial ou a busca por fidelidade gráfica elevada. Neste estudo, a presença é concebida como um fenômeno emergente da convergência entre estímulos sensoriais, processos cognitivos e interações sociais, permitindo que o usuário atue como um agente ativo dentro da simulação, e não apenas como um observador passivo. Sob a ótica da cognição corporificada (*embodied cognition*), a experiência de presença se manifesta quando a tecnologia se torna transparente e o cérebro passa a reconhecer o agente virtual como extensão do corpo físico e as ferramentas virtuais como extensões da capacidade de ação.

O modelo desenvolvido estrutura o conceito de presença em seis dimensões interdependentes: espacial, social, pessoal, ambiental, envolvimento e agência. A arquitetura organiza a experiência imersiva em três subagrupamentos funcionais. O primeiro subagrupamento abrange as dimensões ambiental e espacial para representar a coerência, a responsividade e a estabilidade do sistema virtual. O segundo envolve as dimensões sociais e a agência, com foco na capacidade de interação com agentes e no controle exercido sobre o ambiente mediado. O terceiro compreende as dimensões pessoal e de envolvimento para refletir o processamento interno, a apropriação do corpo virtual e o engajamento na tarefa terapêutica.

Embora os agrupamentos facilitem a organização, a manutenção da granularidade, definida como a capacidade de analisar cada componente individual em vez de considerar apenas o conjunto, é essencial para a precisão do diagnóstico. Essa distinção evita que variações em dimensões específicas sejam ocultadas por um resultado médio geral. Por exemplo, um sistema pode oferecer alta fidelidade visual (presença ambiental) e apre-

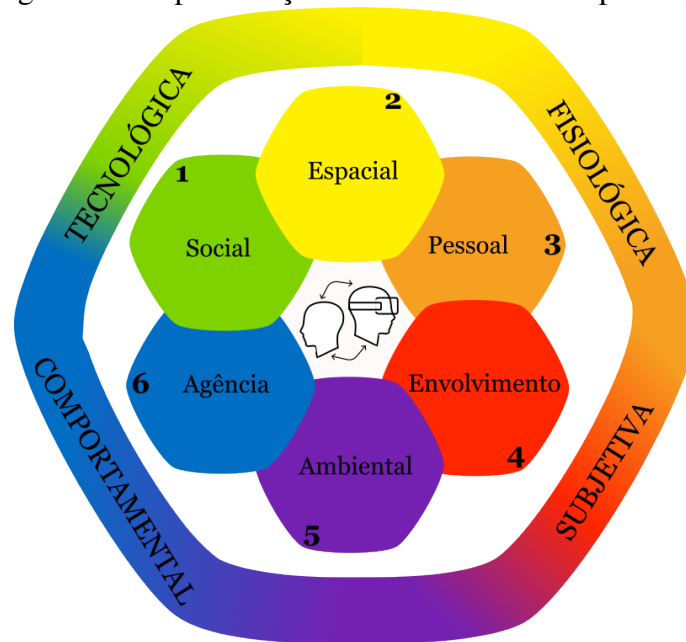
sentar falhas na velocidade de resposta, o que prejudica a presença espacial. Caso esses aspectos fossem fundidos em um índice único, a identificação da causa exata do problema seria inviabilizada. A separação das dimensões permite identificar se o obstáculo clínico reside no comportamento do usuário ou na precisão do sistema, garantindo que os ajustes técnicos e clínicos sejam direcionados ao ponto exato de falha para não comprometer a eficácia da telerreabilitação.

Para operacionalizar essa avaliação, o modelo sistematiza a coleta de dados, distinguindo os parâmetros do sistema da resposta do usuário. Os indicadores tecnológicos monitoram fatores externos causais, quantificando, em tempo real, variáveis críticas, como a latência da rede, a taxa de atualização dos quadros e a precisão do rastreamento, assegurando o cumprimento dos requisitos técnicos mínimos para a imersão. Uma vez garantida a estabilidade do sistema, a validação da presença é realizada por meio da investigação de três categorias de dados centradas no paciente. A primeira categoria é composta por indicadores subjetivos, coletados por meio de questionários, que fornecem a percepção consciente e declarada da experiência. A segunda abrange os indicadores comportamentais, que refletem ações observáveis e reações motoras (in)voluntárias. A terceira categoria inclui os indicadores fisiológicos, que aferem as respostas do corpo e sinalizam o nível de engajamento real e o esforço.

Essa abordagem multidimensional assegura a sensibilidade do instrumento, permitindo verificar a convergência entre o desempenho do sistema, o que o usuário sente e como seu corpo reage ao ambiente virtual. A Figura 4.1 sintetiza a representação visual do modelo como um sistema dinâmico de transposição do “eu físico” para o “eu virtual”. O núcleo central ilustra a interação entre os fatores intrínsecos e extrínsecos e o perfil do usuário, que se projeta nas seis dimensões do modelo para operacionalizar os conceitos fundamentais de presença. O anel externo consolida o processo de corroboração, demonstrando como a integração das quatro fontes de indicadores variados captura a materialidade dessa transposição.

Esta visão geral estabelece o panorama e a organização lógica necessária para a compreensão do modelo. Nas seções subsequentes, detalha-se o processo de construção desse panorama, abrangendo os métodos de mensuração da presença e a identificação dos determinantes externos e internos que modulam a experiência imersiva. A exposição prossegue com a apresentação da estrutura final do modelo, acompanhada pela discussão técnica sobre sua funcionalidade e as implicações práticas para o monitoramento clínico em ambientes de telerreabilitação.

Figura 4.1: Representação visual do modelo de presença.



Fonte: o autor.

## 4.2 Estratégias e Métodos de Mensuração da Presença

A mensuração da presença em ambientes virtuais constitui um desafio metodológico, por se tratar de uma experiência subjetiva interna que não permite observação direta nem quantificação objetiva imediata [138]. A literatura científica divide as estratégias de avaliação em dois grupos fundamentais: métodos subjetivos, fundamentados no autorrelato e no julgamento introspectivo do usuário, e métodos objetivos, baseados em registros fisiológicos, comportamentais ou neurofisiológicos [59, 50]. Diante da impossibilidade de uma técnica isolada capturar integralmente o fenômeno, a integração multimodal surge na literatura como estratégia consensual para mitigar vieses e limitações inerentes a cada abordagem isolada [39, 150].

A análise detalhada das formas de mensuração percorre os instrumentos clássicos de autorrelato, as técnicas de identificação de rupturas na imersão e os indicadores objetivos (fisiológicos, comportamentais e psicofísicos). Adicionalmente, avaliam-se os métodos emergentes baseados em processamento de linguagem natural, estabelecendo as bases para a estratégia de integração multimodal adotada neste estudo. A Tabela 4.1 sintetiza as principais categorias, métodos e limitações das estratégias de mensuração discutidas.

Os questionários estruturados constituem o instrumento mais amplamente utilizado e influente na literatura para a mensuração da presença [50, 12]. Instrumentos como o Slater-Usuh-Steed Questionnaire (SUS), o Igroup Presence Questionnaire (IPQ) e o Presence Questionnaire (PQ) avaliam predominantemente a presença espacial por meio

de escalas ordinais (Likert) ou pictóricas (como o SAM [156]), aplicadas após a experiência imersiva. A coleta ocorre por meio de respostas a itens padronizados que investigam as sensações ou as ilusões buscadas no instrumento. Contudo, esses instrumentos apresentam limitações amplamente discutidas na literatura, como a interrupção do fluxo da experiência devido à aplicação após a exposição, o viés de memória ao relatar a intensidade vivenciada, a dificuldade dos participantes em descrever com precisão sensações perceptuais complexas e a influência do referencial conceitual do pesquisador, que pode não corresponder à experiência real do participante [79, 156].

Diferentemente dos métodos que buscam quantificar o grau de presença, as quebras de presença constituem um método qualitativo e subjetivo que identifica momentos em que a ilusão do ambiente virtual é interrompida, redirecionando a atenção do usuário para o ambiente real. Esse método avalia a estabilidade temporal da presença por meio do registro de eventos espontâneos relatados durante ou logo após a experiência, geralmente decorrentes de falhas técnicas, distrações externas ou inconsistências no ambiente virtual. A coleta baseia-se no relato imediato do participante sobre o momento e a causa da ruptura da imersão. Entre as principais limitações dessa abordagem, estão o viés de omissão, quando o usuário deixa de relatar quebras menores devido à empolgação ou à dificuldade de refletir em tempo real, e o viés de complacência, caracterizado pela descrição de quebras inexistentes para atender às expectativas percebidas do pesquisador [138]. Técnicas complementares, como entrevistas semiestruturadas, comparações entre estímulos reais e virtuais e o *cross-modality matching*, técnica na qual o usuário traduz a força da sua sensação interna ao ajustar um estímulo físico (como o volume de um som ou a intensidade de uma luz), oferecem perspectivas qualitativas adicionais. Contudo, essas abordagens mantêm alto grau de subjetividade interpretativa e pouca padronização para comparações entre participantes [59, 142].

Por outro lado, os métodos objetivos buscam inferir a presença a partir de respostas observáveis que não dependem do autorrelato consciente, contornando parcialmente as limitações dos métodos subjetivos. Os indicadores fisiológicos registram respostas autonômicas associadas às respostas do usuário. A coleta utiliza sensores não invasivos para mensurar a condutância da pele, a variabilidade da frequência cardíaca, os padrões de fixação ocular e, em contextos laboratoriais avançados, a atividade eletroencefalográfica (EEG). Embora ofereçam dados contínuos e independentes da memória, esses indicadores apresentam ambiguidade interpretativa, pois as respostas fisiológicas refletem estados emocionais gerais que nem sempre correspondem à presença de um determinado estado emocional. Isso exige cuidadosa operacionalização experimental para isolar o constructo de interesse e evitar interferências de variáveis extrínsecas, como a ansiedade preexistente ou a fadiga física [50, 39].

Podemos também destacar os indicadores comportamentais, manifestos em

ações espontâneas que evidenciam a aceitação do ambiente virtual como principal espaço de interação. Eles avaliam até que ponto o usuário age de forma semelhante ao mundo real no contexto virtual [134]. A coleta é feita por meio de observação direta ou de sistemas automatizados que registram respostas, como desvios corporais diante de ameaças virtuais, tentativas de tocar objetos inexistentes, respeito à distância entre avatares e reações involuntárias a estímulos inesperados. Esses comportamentos têm a vantagem de não dependerem do relato do participante e de revelar reações automáticas. No entanto, exigem-se cenários bem planejados para estimular respostas naturais sem causar artificialidade ou necessidade de instruções explícitas [138, 59].

Os métodos psicofísicos utilizam ajustes controlados para mensurar a relação quantitativa entre estímulos físicos controlados e as sensações percebidas pelo usuário, sendo aplicados para identificar os limiares de percepção associados à presença [134]. Nesses procedimentos, o participante ajusta parâmetros, como a iluminação e o campo de visão, até que a experiência virtual pareça corresponder a uma situação previamente definida. Embora forneçam dados quantitativos consistentes, esses métodos tornam-se mais complexos à medida que aumenta o número de variáveis tecnológicas e não explicam claramente os processos mentais que orientam as escolhas do usuário, o que reduz sua capacidade de interpretação [138].

Recentemente, têm sido desenvolvidas técnicas baseadas em inteligência artificial voltadas à análise qualitativa da experiência do usuário. Entre elas, destaca-se a análise de sentimento, que utiliza algoritmos de processamento de linguagem natural aplicados a textos ou falas espontâneas para identificar padrões emocionais e temáticos associados à presença. Esses métodos permitem captar nuances subjetivas não identificadas por escalas tradicionais, mas dependem de produções verbais extensas e de dicionários específicos ao domínio da presença virtual, o que limita sua aplicação em contextos clínicos com tempo reduzido ou entre participantes com dificuldades de comunicação [138].

A literatura converge no reconhecimento de que a aplicação isolada de qualquer método, seja subjetivo ou objetivo, resulta em uma avaliação fragmentada da presença virtual, devido à sua natureza multifacetada. Os métodos subjetivos apresentam viés de memória e dificuldade de verbalização; os objetivos, por sua vez, sofrem com ambiguidade interpretativa e dependem de cenários experimentais artificiais; já os métodos emergentes ainda carecem de validação consistente em contextos aplicados [142]. Essas limitações sustentam a recomendação amplamente aceita do cruzamento das informações, que consiste na integração de múltiplas fontes de dados para construir um argumento de indício coerente [50]. Essa estratégia reconhece que a presença se manifesta simultaneamente em diferentes níveis de processamento, desde respostas fisiológicas automáticas até julgamentos conscientes. A integração multimodal, portanto, busca não apenas a convergência numérica entre diferentes métricas, mas também a complementaridade explicativa

Tabela 4.1: Síntese das estratégias de mensuração de presença virtual.

<b>Categoria</b>	<b>Método</b>	<b>Indicadores Principais</b>	<b>Limitação Principal</b>
Subjetiva	Questionários	Escalas Likert (SUS, IPQ, PQ)	Viés de memória e interrupção do fluxo.
Subjetiva	Quebras	Relato de interrupções da ilusão	Viés de omissão ou complacência.
Objetiva	Fisiológica	Frequência cardíaca, condutância da pele	Ambiguidade interpretativa dos dados.
Objetiva	Comportamental	Reações motoras involuntárias	Necessidade de cenários bem planejados.
Emergente	IA / Sentimento	Processamento de Linguagem Natural	Dependência de produções verbais extensas.

Fonte: o autor.

[134, 39, 12, 138]. Em consonância com esse consenso científico, o modelo proposto neste estudo adota a integração multimodal como estratégia central, integrando as melhores características de cada abordagem, como a profundidade semântica do autorrelato, a precisão da telemetria comportamental e a objetividade das respostas fisiológicas, para reduzir as limitações individuais dos métodos e garantir a consistência diagnóstica exigida no contexto clínico da telerreabilitação.

## 4.3 Determinantes de Presença

Os determinantes da presença são os fatores que influenciam a forma como o usuário percebe, reage e mantém o envolvimento no ambiente virtual. A organização desses fatores é importante neste estudo, pois apoia a construção do modelo de avaliação multimodal proposto. A metodologia utiliza a junção entre parâmetros do sistema e respostas do paciente, e o mapeamento dos determinantes ajuda a controlar variáveis de confusão e a diferenciar interferências da interface técnica de limitações funcionais do paciente. Para realizar essa análise, o estudo adota a classificação bipartida, que distingue os determinantes externos (tecnológicos e sistêmicos) dos internos (características do usuário).

### 4.3.1 Fatores Externos

Os determinantes externos correspondem às características objetivas do hardware e do software que criam e mantêm a ilusão de presença. Essa construção depende da fidelidade sensorial, que envolve a vivacidade (*vividness*) da experiência, definida pela quantidade de sentidos estimulados e pela resolução e qualidade dos sinais. A consis-

tência entre os diferentes estímulos é essencial, pois elementos visuais, sonoros e táteis precisam atuar de forma sincronizada para evitar desconexões cognitivas que reduzem a sensação de imersão.

No domínio visual, o campo de visão (FOV) e a precisão do rastreamento (6DOF) são variáveis principais. Um FOV mais amplo aumenta a sensação de envolvimento espacial ao estimular a visão periférica, enquanto a estabilidade da taxa de atualização é necessária para garantir a fluidez dos movimentos. Pesquisas mostram que, para manter a sensação de controle (agência), a baixa latência e a precisão das respostas motoras têm maior impacto do que o nível de detalhamento gráfico [58, 126]. Atrasos perceptíveis (*input lag*) quebram a relação entre ação e resultado, levando o usuário a perceber a presença da tecnologia mediadora [158]. Em sistemas com seis graus de liberdade (6DOF), a segurança física é mantida por sistemas de fronteiras (*Chaperone* ou *Guardian*). Embora essenciais em protocolos de reabilitação com grande amplitude de movimento, a ativação visual súbita dessas grades atua como um estímulo externo que interrompe a ilusão imersiva e constitui uma causa frequente de quebra de presença.

Além da fidelidade, a interatividade e coerência do sistema sustentam a ilusão de plausibilidade. A presença emerge de contingências sensoriomotoras naturais, em que o ambiente virtual reage de forma lógica às ações do usuário [137, 134]. A ausência de colisões físicas com objetos virtuais ou a flutuação de avatares constitui uma violação de expectativa que degrada a credibilidade da experiência [21]. Paralelamente, fatores de conteúdo, como a narrativa e a presença social de outros agentes, atuam como mecanismos de absorção de atenção, deslocando o foco da tecnologia para a interação [140]. A representação do *self virtual* fecha esse ciclo, pois a correspondência visual-motora entre o corpo físico e o digital é essencial para o sentido de apropriação (*body ownership*), transformando a experiência de “assistir” em “habitar” [126].

Além dos fatores intrínsecos à simulação, a estabilidade da infraestrutura técnica e o conforto físico do hardware atuam como determinantes silenciosos. Em contextos de telerreabilitação, a instabilidade da rede (jitter) introduz discontinuidades temporais que degradam a presença espacial de forma mais severa que a latência constante [70, 126]. Somam-se a isso as restrições ergonômicas, como o peso do visor e o gerenciamento de cabos, que servem como âncoras sensoriais ao mundo físico [122, 152]. Quando a interface de controle não está integrada de forma lógica ao cenário (interface diegética), o usuário é constantemente lembrado da mediação tecnológica, o que dificulta a manutenção do fluxo terapêutico e a estabilidade da ilusão de lugar [83, 58].

### 4.3.2 Fatores Internos

Os determinantes internos compreendem as variáveis psicológicas, demográficas e perceptivas que o indivíduo traz para a experiência, funcionando como filtros que influenciam a imersão tecnológica [79]. O indicador psicológico mais constante é a tendência imersiva, definida como a disposição do indivíduo para se envolver em histórias e direcionar a atenção para o mundo virtual, ignorando o ambiente externo [148]. Esse traço é reforçado por capacidades como a atenção e a modelagem espacial, que permitem ao usuário construir uma imagem mental clara do cenário digital. Junto à capacidade de ignorar falhas (suspensão de descrença), esses fatores permitem que o usuário aceite a simulação mesmo com pequenas limitações técnicas [123].

No contexto da interação, o locus de controle é um fator decisivo para o sentido de agência. Usuários com maior tendência ao controle interno percebem melhor a ligação entre suas intenções de movimento e as respostas do avatar [38]. Variáveis de idade e histórico pessoal também alteram essa resposta. A idade influencia a facilidade de aceitação, pois crianças costumam aceitar o mundo virtual com menos resistência que adultos [38, 83]. Além disso, a experiência prévia com tecnologia ajuda no processo, pois diminui o esforço necessário para operar o sistema e permite focar logo na tarefa da terapia [130, 148].

Por fim, existem fatores internos que atuam como barreiras à presença. O *cybersickness*, provocado pelo conflito entre a visão e o equilíbrio, interrompe a imersão ao levar a atenção para o desconforto físico [50, 38]. No domínio social, o fenômeno do vale da estranheza (*uncanny valley*) descreve a repulsa causada por representações virtuais quase humanas, mas perceptivamente falhas, o que prejudica a empatia e a presença social [80, 136]. Esses determinantes demonstram que a experiência de presença não é apenas um produto da potência do hardware, mas uma construção subjetiva dependente da integridade neurofisiológica e do perfil psicológico do usuário [148, 38, 145].

### 4.3.3 A Integração dos Determinantes

A compreensão da presença como um fenômeno multidimensional exige o reconhecimento de que os fatores externos e internos não operam de forma independente [79]. A experiência imersiva surge na intersecção entre o que o sistema oferece (potencial tecnológico) e o que o usuário consegue processar (capacidade psicológica) [130, 138]. Essa zona de interação justifica a organização do modelo proposto, que agrupa as dimensões de acordo com a origem dos estímulos e a natureza da resposta do paciente.

Para operacionalizar essa relação, o modelo associa os determinantes técnicos principalmente às dimensões ambientais, sociais e espaciais, enquanto os determinantes humanos fundamentam as dimensões pessoal, de envolvimento e agência. A Tabela 4.2

apresenta esse mapeamento, demonstrando como cada variável externa ou interna sustenta os pilares de avaliação do instrumento.

Tabela 4.2: Mapeamento dos determinantes para as dimensões do modelo.

<b>Dimensão do Modelo</b>	<b>Determinante Externo (Sistema)</b>	<b>Determinante Interno (Usuário)</b>
Espacial e Ambiental	Campo de visão (FOV), latência e estabilidade da rede ( <i>jitter</i> ).	Capacidade de modelagem espacial e foco atencional.
Social	Qualidade dos avatares e fidelidade da comunicação remota.	Tendência à empatia e abertura a interações mediadas.
Agência	Sincronia motora, 6DOF e reatividade do ambiente virtual.	Locus de controle e histórico de uso de tecnologias.
Pessoal e Envolvimento	Representação do <i>self</i> virtual e narrativa da tarefa clínica.	Tendência imersiva e suspensão de descrença.

Fonte: o autor.

Essa visão integrada permite que o modelo de avaliação atue como uma ferramenta útil no contexto da telerreabilitação. Ao monitorar simultaneamente a infraestrutura técnica e o perfil de resposta do sujeito, torna-se possível identificar se uma redução nos níveis de presença decorre de limitações do equipamento ou de barreiras clínicas intrínsecas ao paciente. Essa distinção é a base para a personalização das sessões terapêuticas e para a garantia da eficácia das intervenções em ambientes virtuais imersivos.

## 4.4 Estrutura do Modelo Multimodal de Avaliação da Presença em Telerreabilitação

Enquanto as seções anteriores apresentaram os determinantes metodológicos e os métodos de mensuração para a coleta de dados, esta seção detalha as métricas que constituem as evidências observáveis da presença no modelo proposto. A operacionalização do modelo fundamenta-se na transição da mensuração teórica para a verificação prática na telerreabilitação por exergames imersivos. Diferentemente de abordagens laboratoriais controladas, nas quais o uso de instrumentação complexa é viável, o contexto domiciliar e terapêutico impõe restrições de usabilidade e custo. Portanto, a seleção das métricas seguiu o critério de viabilidade ecológica, privilegiando dados coletados de forma não invasiva por meio dos sensores nativos dos HMDs, dispositivos vestíveis e sensores externos de baixo custo.

A Tabela 4.3 apresenta a matriz de operacionalização do modelo, sintetizando a distribuição das métricas subjetivas, comportamentais, fisiológicas e tecnológicas entre as seis dimensões propostas.

Tabela 4.3: Indicadores de Presença em Ambientes Virtuais por Dimensão

Dimensão	Subjetivos	Comportamentais	Fisiológicos	Tecnológicos
<b>Espacial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eu me senti presente no espaço virtual. (IPQ)</li> <li>• De alguma forma, senti que o mundo virtual me cercava. (IPQ)</li> </ul>	<p>Exploração ativa do cenário (Head Directional Path; Head Yaw/Pitch Range); Ocupação do volume virtual (Volume do Elipsoide de Confiança 95%); Estabilidade postural (Oscilação Postural/Sway Area; SampEn); Navegação e marcha (Cadência; Comprimento do Passo); Interação com Limites (Frequência de ativação do sistema de guardião)</p>	<p>Frequência Cardíaca de Reserva; Recuperação da FC</p>	<p>Campo de Visão (FOV) do HMD; Estabilidade da Taxa de Quadros (Frame Rate).</p>
<b>Social</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eu senti que fui capaz de me expressar de forma eficaz. (TUQ)</li> <li>• Eu senti que o terapeuta virtual e eu interagimos. (VTAS)</li> <li>• Pareceu que o terapeuta virtual compartilhava o ambiente virtual comigo. (VTAS)</li> <li>• Eu senti que o terapeuta virtual era confiável. (VTAS)</li> </ul>	<p>Sincronização motora (Correlação de padrões de movimento inter-avataar); Manutenção de distância social padronizada (Proxêmica).</p>	<p>Frequência Respiratória (RR) ajustada à tarefa; Índice de Fadiga Vocal; Variações na Prosódia.</p>	<p>Latência da Rede (Lag de transmissão); Realismo visual e comportamental do Avatar.</p>
<b>Pessoal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ao usar seu avatar, você sente que está fisicamente próximo dos objetos e de outros avatares? (SPQ)</li> <li>• Quanto você sente que seu avatar faz parte do seu corpo? (SPQ)</li> <li>• Em que medida você personalizou seu avatar para que ele tenha a aparência que tem? (SPQ)</li> <li>• Quanto você se importa com a aparência do seu avatar? (SPQ)</li> </ul>	<p>Integração do esquema corporal (Desvio Proprioceptivo / Proprioceptive Drift); Movimento reflexo de recuo; Checagem Corporal (Self-inspection)</p>	<p>Sincronia Visuomotora; Latência Motion-to-Photon; Inverse Kinematics (predição da animação das juntas)</p>	
<b>Ambiental</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O quanto sua experiência no ambiente virtual pareceu consistente com sua experiência no mundo real? (IPQ)</li> <li>• Quão natural foi realizar os movimentos corporais para se deslocar ou agir dentro do jogo? (PQ)</li> <li>• O ambiente representado parece natural. (HPQ)</li> </ul>	<p>Trajetória direcional da cabeça (Head Directional Path); Amplitude angular de rotação (Yaw/Pitch); Escaneamento periférico.</p>	<p>Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) no domínio da frequência (Balço LF/HF).</p>	<p>Motor de Física (Consistência de colisões e gravidade); Coerência visual de texturas.</p>
<b>Envolvimento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quão consciente você estava do mundo real ao seu redor enquanto navegava no mundo virtual? (IPQ)</li> <li>• Eu estava completamente cativado pelo mundo virtual. (IPQ)</li> <li>• Houve momentos em que você se sentiu completamente focado na tarefa ou no ambiente? (PQ)</li> <li>• Você estava envolvido a ponto de perder a noção do tempo? (PQ)</li> </ul>	<p>Intensidade do engajamento físico (Velocidade de Pico; Aceleração RMS); Persistência na atividade (Time on Task; Tempo de Movimento Efetivo); Prontidão motora (Agilidade: razão velocidade/precisão); Foco (Redução de micromovimentos de distração)</p>	<p>Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) - Balço LF/HF</p>	<p>Design do Jogo (Mecânicas/Recompensas); Nível de Desafio Ajustável; Frequência de feedbacks positivos visuais/sonoros</p>
<b>Agência</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minha interação com o ambiente representado parece realista. (HPQ)</li> <li>• Quão bem você conseguiu mover ou manipular objetos no ambiente virtual? (PQ)</li> <li>• Quanto atraso você experimentou entre suas ações e os resultados esperados? (PQ)</li> <li>• Quão rapidamente você se ajustou à experiência do ambiente virtual? (PQ)</li> </ul>	<p>Fluidez e controle motor (Spectral Arc Length - SPARC; Log Dimensionless Jerk); Ausência de compensação (% de Deslocamento do Tronco / Trunk Compensation); Planejamento motor (Tempo até o Pico de Velocidade / Time to Peak Velocity); Controle voluntário (Speed-Accuracy Trade-off - SAT); Precisão do alcance (Target Error / RMSE); Ajuste</p>	<p>VFC no domínio do tempo (RMSSD); Frequência Respiratória (RR) e Índice de Fadiga Vocal 6DoF</p>	<p>Latência do Sistema (Input Lag); Precisão do Controle 6DoF</p>

### 4.4.1 Indicadores Subjetivos

Embora sujeitos a viés de memória, os indicadores subjetivos constituem a via primária para acessar a percepção interna da experiência. Para assegurar a viabilidade ecológica na telerreabilitação, onde a fadiga do paciente atua como variável clínica limitante, o modelo exclui a aplicação integral de múltiplos questionários extensos. O estudo adota a estratégia de itens-chave, selecionando perguntas específicas de instrumentos validados para mensurar os componentes das seis dimensões estruturadas. Para detalhar a fundamentação dessa estratégia, os parágrafos a seguir apresentam o recorte de duas perguntas representativas por dimensão. O conjunto completo, composto por 21 itens selecionados, encontra-se detalhado na Tabela 4.3.

A dimensão espacial verifica se o paciente percebe o ambiente virtual como seu espaço circundante. Utilizam-se itens como “Eu me senti presente no espaço virtual” e “De alguma forma, senti que o mundo virtual me cercava”, derivados do *Igroup Presence Questionnaire* (IPQ). Tais perguntas não avaliam a atratividade visual, mas o grau de inclusão espacial. A afirmação de sentir-se cercado indica que o sistema perceptual reconheceu as fronteiras digitais como o ambiente principal, ignorando os limites físicos.

Na telerreabilitação, a presença social representa a base da confiança clínica. A dimensão incorpora itens do *Virtual Therapist Alliance Scale* (VTAS), como “Eu senti que o terapeuta virtual e eu interagimos” e “Eu senti que o terapeuta virtual era confiável”. A primeira questão avalia a percepção de reciprocidade na interação, enquanto a segunda mede o reconhecimento da credibilidade do agente virtual, requisito fundamental para a relação terapêutica.

Para a execução de exercícios motores, a dimensão pessoal verifica a integração do avatar ao esquema corporal do paciente. Aplicam-se questões do *Spatial Presence Questionnaire* (SPQ), como “Quanto você sente que seu avatar faz parte do seu corpo?” e “Ao usar seu avatar, você sente que está fisicamente próximo dos objetos?”. Essas métricas avaliam a transferência da propriocepção, indicando se a representação digital opera como ferramenta externa ou extensão corporal.

A dimensão ambiental mensura a coerência lógica do cenário e a expectativa de realidade. Questões como “O quanto sua experiência no ambiente virtual pareceu consistente com sua experiência no mundo real?” (IPQ) e “Quão natural foi o mecanismo que controlava o movimento através do ambiente?” do *Presence Questionnaire* (PQ) compõem a análise. A percepção de naturalidade aponta que a física virtual corresponde ao modelo mental do paciente, atestando a ausência de rupturas cognitivas.

A dimensão de envolvimento avalia a captura atencional, focando no estado de fluxo em que o esforço repetitivo é mitigado. Perguntas como “Você estava envolvido a ponto de perder a noção do tempo?” (PQ) e “Eu estava completamente cativado pelo

mundo virtual” (IPQ) direcionam a medida. A perda da noção temporal representa o indício subjetivo principal de que a atenção bloqueou as distrações externas.

Por fim, a dimensão de agência testa a conexão entre a intenção motora e o resultado visual. A análise utiliza itens do PQ, como “Quanto atraso você experimentou entre suas ações e os resultados esperados?” e “Quão bem você conseguiu mover ou manipular objetos no ambiente virtual?”. Essas perguntas medem a eficácia da relação causa-efeito. A percepção de atraso degrada a autoria da ação, enquanto a manipulação fluida indica que a interface mediadora tornou-se transparente.

#### 4.4.2 Indicadores Comportamentais

Diferente das abordagens laboratoriais dependentes de sistemas de captura dedicados, este modelo adota a computação pervasiva, extraindo métricas dos sensores inerciais e de rastreamento embutidos no HMD, nos controladores manuais e em sensores de baixo custo [43, 159]. Essa estratégia viabiliza a avaliação contínua sem interromper o fluxo terapêutico no ambiente domiciliar. A seguir, serão apresentados um recorte representativo de métricas cinemáticas e espaciais para ilustrar a operacionalização de cada dimensão. Vale ressaltar que essas métricas não constituem um conjunto engessado [59]. A seleção final das variáveis requer adaptação às restrições biomecânicas impostas pela patologia do paciente e às mecânicas específicas do exergame utilizado [43, 159]. Contudo, as métricas descritas norteiam a aplicação do modelo, estabelecendo a viabilidade técnica de isolar evidências de presença a partir do fluxo de dados motores brutos [82, 2].

A dimensão de envolvimento mensura a alocação atencional e a sustentação do estado de fluxo durante a tarefa. A avaliação comportamental dessa dimensão baseia-se na continuidade da ação e na redução da ociosidade motora (*idle time*) [59]. A métrica extraída é a razão entre o tempo de movimento ativo e o tempo total da sessão, associada à latência de resposta motora (*movement onset latency*) diante do aparecimento de novos alvos no cenário [136]. Pacientes com baixo envolvimento registram interrupções frequentes e aumento no tempo de latência, indicativo de atenção dividida com o ambiente físico ou fadiga não compensada pela motivação. A manutenção de um ritmo cíclico de interação, com tempos de resposta curtos e consistentes, evidencia o foco atencional exclusivo na simulação clínica [63].

A dimensão de agência é quantificada pela suavidade do movimento. Falhas técnicas, como latência ou erro de calibração, induzem movimentos corretivos e irregulares. As métricas selecionadas para capturar essa variação são o *spectral arc length* (SPARC) e o *log dimensionless jerk* [43, ?]. O *jerk* corresponde à derivada da aceleração, registrando a taxa de variação da velocidade, enquanto o SPARC analisa o espectro de frequência do perfil de velocidade. Em estados de alta agência, o controle motor produz trajetórias

fluídas. Quando a agência é comprometida, o sistema motor executa microcorreções, resultando em perfis cinemáticos com alto  *jerk* e baixo SPARC. Dessa forma, a fluidez matemática do movimento atesta a transparência da interface mediadora.

A dimensão espacial mensura se o paciente restringe seus movimentos aos limites do ambiente físico ou se aceita a extensão do cenário simulado. A métrica aplicada é o volume do elipsoide de confiança de 95%. O algoritmo mapeia as coordenadas espaciais (x,y,z) do HMD e dos controladores durante a sessão para calcular o volume geométrico da área de alcance. Essa medida detecta inibições motoras decorrentes do receio de colisão com objetos reais. Pacientes com baixa presença espacial tendem a fixar o tronco e mover apenas os membros superiores, reduzindo a área explorada. A expansão do volume do elipsoide indica que a representação espacial virtual superou a restrição física.

A dimensão ambiental analisa a interação exploratória do paciente em resposta à consistência do cenário simulado. A métrica consiste na trajetória direcional da cabeça (*head directional path*) combinada à amplitude angular de rotação (*yaw* e *pitch*) do HMD [130]. Tais variáveis quantificam a soma dos movimentos cefálicos e a dispersão do foco visual. Em cenários com baixa coerência, o usuário tende a fixar o eixo central da tela. Em contraste, a alta presença ambiental estimula o reflexo anatômico de orientação, resultando no escaneamento da periferia visual. A variabilidade na orientação do HMD evidencia que o sistema perceptual trata o cenário simulado como espaço de referência primário.

Na dimensão social, a evidência comportamental avalia a eficácia da mediação tecnológica na interação entre paciente e terapeuta remoto. A análise fundamenta-se na sincronização motora e na proxêmica virtual [115]. Em interações físicas, a copresença induz a sincronização de posturas corporais. Em ambientes virtuais, quando o paciente atribui validade social ao avatar, os registros cinemáticos apresentam correlação nos padrões motores entre os usuários. A proxêmica atua como métrica complementar: pacientes com baixa presença social tendem a violar o espaço geométrico do avatar, atravessando-o de forma vetorial. Em contrapartida, altos níveis de presença resultam na manutenção de distâncias interpessoais padronizadas, tratando o modelo tridimensional como entidade sujeita às normas de convívio físico.

A dimensão pessoal verifica a correspondência biomecânica dos movimentos em relação ao modelo corporal do avatar. A principal métrica extraída é a compensação do tronco em relação ao alcance do membro superior (*trunk displacement vs. hand reach*) [43, 40]. O algoritmo compara o vetor de deslocamento do centro de massa com a extensão máxima dos controladores, quantificando a integridade do esquema corporal. Sob baixa apropriação da representação digital (*body ownership*), o paciente executa movimentos compensatórios não fisiológicos para alcançar os alvos do exergame

[19, 40]. A execução do movimento terapêutico sem compensações estruturais indica a internalização anatômica do avatar.

### 4.4.3 Indicadores Fisiológicos

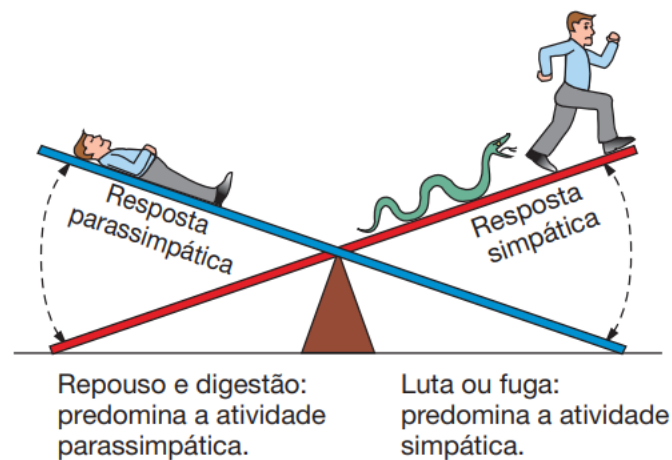
A monitorização fisiológica busca validar se a intensidade da experiência virtual gera respostas corporais reais por meio de uma avaliação não invasiva adequada ao ambiente domiciliar. O modelo prioriza métricas extraídas de dispositivos vestíveis (*smartwatches*) e biossensores ópticos, uma escolha fundamentada na ampla base de evidências na literatura científica e na viabilidade técnica para o monitoramento remoto. Tais indicadores são reconhecidos como marcadores fundamentais da atividade do sistema nervoso autônomo, permitindo identificar o nível de engajamento do usuário de forma objetiva e sem a necessidade de equipamentos laboratoriais complexos que comprometeriam a usabilidade [128, 50].

Dentro desta lógica de monitoramento, a frequência cardíaca de reserva (FCR) e a taxa de recuperação pós-esforço estabelecem a conexão direta entre a dimensão de envolvimento e o impacto clínico da sessão. Enquanto a elevação cardíaca em simulações passivas aponta para respostas de estresse ou enjoo (*cybersickness*), o uso de exergames exige uma interpretação distinta. Nesse cenário, a manutenção de zonas elevadas de FCR sinaliza engajamento motor voluntário e foco na tarefa terapêutica. A capacidade do paciente de sustentar o esforço físico contínuo demonstra que a imersão opera como um filtro de atenção, inibindo o processamento cognitivo da fadiga muscular [66, 35].

Para complementar essa análise e compreender a qualidade do engajamento, o modelo utiliza a variabilidade da frequência cardíaca (VFC), que reflete a regulação do Sistema Nervoso Autônomo (SNA), conforme ilustrado na Figura 4.2. O SNA opera por meio de dois ramos opostos, sendo o sistema simpático é responsável pela mobilização de energia e pelas respostas de alerta, enquanto o sistema parassimpático atua na conservação de energia e na manutenção do estado de repouso. A VFC quantifica as oscilações de tempo entre os batimentos sucessivos do coração, servindo como indicador da capacidade de adaptação do corpo diante das demandas do ambiente virtual [128, 50].

O modelo incorpora métricas da VFC no domínio do tempo e da frequência para interpretar o estado interno do usuário e avaliar as dimensões de agência e presença ambiental. No domínio do tempo, utiliza-se o índice RMSSD (*Root Mean Square of the Successive Differences*), que estima a atividade parassimpática contínua. Um RMSSD estável indica controle emocional e adaptação mental à interface. No domínio da frequência, aplica-se a razão entre componentes de baixa frequência (*Low Frequency* ou LF) e alta frequência (*High Frequency* ou HF) para avaliar o equilíbrio entre os sistemas simpático e parassimpático [136].

Figura 4.2: Representação do sistema nervoso autônomo.



Fonte: [133]

Durante a telerreabilitação, espera-se uma predominância simpática controlada, refletindo o esforço físico e o estresse positivo decorrente do desafio do exergame. Contudo, falhas técnicas que afetam a agência, como atraso na resposta do avatar, ou o surgimento de dor articular aguda resultam em picos desorganizados de alerta simpático e queda abrupta do RMSSD. A VFC diferencia de forma matemática o esforço nocivo do engajamento terapêutico saudável.

A frequência respiratória e a análise de voz fornecem evidências complementares para as dimensões social e ambiental. Em ambientes de alta imersão, o padrão respiratório sincroniza-se com a demanda física da tarefa virtual. A análise do áudio captado pelo microfone do *headset* mensura o índice de fadiga vocal e as alterações no tom de voz durante a comunicação com o terapeuta remoto. A manutenção de um diálogo contínuo, mesmo com a respiração ofegante inerente ao exercício, comprova a transparência da tecnologia. A ausência de hesitações ou de falas focadas em problemas no equipamento valida a estabilidade da presença social [127].

A seleção da frequência cardíaca e da variabilidade da frequência cardíaca (VFC) como indicadores fisiológicos fundamenta-se em critérios de viabilidade ecológica e portabilidade, considerando o cenário domiciliar da telerreabilitação. Embora técnicas como o eletroencefalograma (EEG) e o rastreamento ocular (*eye-tracking*) apresentem maior consolidação na literatura para a aferição da carga cognitiva e da atenção, a aplicação desses dispositivos impõe restrições ergonômicas severas e custos elevados, inviabilizando o uso cotidiano por pacientes em contextos residenciais [50].

Contudo, a adoção de métricas baseadas nos batimentos cardíacos exige ressalvas teóricas rigorosas devido aos conflitos metodológicos existentes na literatura de ambientes virtuais. O desafio central reside na sobreposição de estímulos no sistema nervoso

autônomo durante exergames ativos. Enquanto em simulações passivas a elevação da frequência cardíaca e as alterações no balanço de baixa e alta frequência (LF/HF) da VFC correlacionam-se diretamente com o nível de ativação emocional (arousal) e a imersão psicológica, no contexto deste estudo tais respostas são concomitantemente moduladas pelo esforço motor e pela demanda metabólica do exercício físico.

A seleção da frequência cardíaca e, especificamente, da variabilidade da frequência cardíaca (VFC) como indicadores fisiológicos centrais fundamenta-se na viabilidade ecológica e na portabilidade necessárias para o contexto domiciliar da telerreabilitação. Embora técnicas como o eletroencefalograma (EEG) e o rastreamento ocular (eye-tracking) apresentem elevado rigor laboratorial para aferir processos atencionais, a aplicação clínica desses dispositivos em ambientes residenciais é limitada pela complexidade operacional, pelo alto custo e pelas restrições ergonômicas impostas ao paciente fora do ambiente controlado. Em contrapartida, os sensores de VFC são vestíveis, acessíveis e de fácil calibração pelo próprio usuário, viabilizando o monitoramento contínuo durante as sessões remotas.

Contudo, a incorporação da VFC exige ressalvas teóricas devido à sobreposição de estímulos que ocorre no sistema nervoso autônomo durante a execução de exergames ativos. Enquanto em simulações passivas as alterações no balanço de baixa e alta frequência (LF/HF) correlacionam-se diretamente com o nível de ativação emocional (arousal) e com as quebras de presença, no cenário da reabilitação física essas mesmas respostas são fortemente influenciadas pela demanda metabólica e pelo esforço motor.

#### 4.4.4 Indicadores Tecnológicos

Diferentemente dos indicadores subjetivos, comportamentais e fisiológicos, que mensuram a resposta do usuário, os indicadores tecnológicos avaliam a capacidade de entrega do sistema e o limite físico do equipamento. No contexto da telerreabilitação, esses parâmetros funcionam como requisitos para a manutenção da imersão e para a captura fidedigna dos dados. A monitorização contínua dessas métricas é indispensável para assegurar que níveis reduzidos de presença sejam atribuídos com exatidão a limitações clínicas do usuário ou a falhas na infraestrutura do sistema.

A latência *motion-to-photon* (*input lag*) corresponde ao intervalo de tempo entre o movimento físico do paciente e a atualização da imagem no visor, constituindo um indicador para a avaliação da dimensão de agência. Atrasos na ordem de 50 a 70 milissegundos rompem a causalidade temporal e impedem a associação motora entre o paciente e o avatar [70]. A estabilidade da taxa de quadros quantifica a variabilidade na frequência de atualização visual. Oscilações nessa taxa afetam a dimensão ambiental e a percepção espacial, atuando como o principal gatilho técnico para a cinetose [38]. A constância

dessa taxa garante o conforto visual exigido em sessões terapêuticas prolongadas. O rastreamento monitora a precisão do posicionamento espacial do visor e dos controladores. Perdas de rastreamento ou flutuações nas coordenadas dos membros virtuais (*jitter*) degradam a dimensão pessoal, interrompendo a apropriação do corpo virtual e comprometendo a segurança biomecânica dos exercícios [126].

A inclusão de determinantes externos em um modelo de avaliação justifica-se pela necessidade de isolar variáveis de confusão. A infraestrutura tecnológica estabelece o limite superior da experiência. Um sistema estável não assegura a ocorrência da presença, que depende de fatores cognitivos do indivíduo, mas um sistema instável determina a quebra da imersão. Na reabilitação motora, a análise clínica exige a distinção entre execuções motoras inadequadas decorrentes de limitações funcionais do paciente e aquelas causadas por latência sistêmica. A ausência de dados tecnológicos induz o terapeuta a interpretar falhas de *hardware* como declínio motor. Relatos de baixo envolvimento obtidos nos indicadores subjetivos podem derivar de náusea provocada por oscilações visuais, não refletindo desinteresse na tarefa. O cruzamento com o indicador tecnológico contextualiza as métricas fisiológicas e comportamentais, garantindo que os dados capturados mensurem a interação do sujeito com o ambiente simulado, excluindo interferências da interface de mediação.

## 4.5 Cenário de Aplicação: Cicloexergame

Para consolidar a arquitetura multidimensional, apresenta-se um cenário de aplicação voltado ao contexto de um cicloexergame imersivo de telerreabilitação. Este sistema utiliza um cicloergômetro integrado a um ambiente virtual em que a cadência de pedalada do paciente controla o deslocamento do avatar em uma ciclovia digital. A ferramenta possui validação prévia em requisitos de aceitação, eficácia e de engajamento por pacientes e fisioterapeutas [141]. A transição da plataforma para dispositivos de realidade virtual autônomos, como o *head-mounted display* (HMD), viabiliza a aplicação empírica do modelo de avaliação de presença. A arquitetura do sistema possibilita a manifestação integrada das seis dimensões propostas. A dimensão espacial e a dimensão ambiental materializam-se na pista tridimensional, onde o isolamento visual fornecido pelo HMD suprime as distrações do espaço físico e impõe as regras de colisão e deslocamento do cenário digital. A estabilidade da imagem a 90 FPS e o fluxo óptico asseguram a base técnica dessas dimensões. O modelo utiliza o elipsoide de confiança de 95% para monitorar a estabilidade do tronco no banco do cicloergômetro, identificando o nível de adaptação ao espaço virtual. A dimensão pessoal e a dimensão de agência ocorrem mediante a sincronização entre o movimento físico nos pedais e o rastreamento do tronco e das mãos pelos sensores do visor. A latência *motion-to-photon* é mantida

abaixo de 20ms para garantir que a intenção motora do paciente seja traduzida em resposta imediata no software. O cálculo do comprimento do arco espectral (*SPARC*) e do erro quadrático médio (*RMSE*) permite avaliar se a pedalada ocorre de forma suave ou se existem interrupções causadas por atrasos no processamento. A dimensão pessoal é validada pela sincronia visuomotora entre o movimento das pernas reais e das pernas do avatar, garantindo a incorporação da representação digital. As dimensões de envolvimento e social monitoram o estado mental durante o exercício cíclico. O modelo cruza o aumento da frequência cardíaca com a percepção temporal do paciente. Um nível de presença é identificado quando o engajamento físico resulta em uma distorção subjetiva do tempo, caracterizada pela sensação de que a sessão durou menos que o tempo real registrado pelo sensor. A operação do software em modo *multiplayer* viabiliza a dimensão social por meio da interação síncrona com o fisioterapeuta, onde a sincronia motora calculada por correlação cruzada atesta a eficácia da conexão mediada. Para mensurar a experiência do paciente, a infraestrutura de coleta de dados do sistema foi alinhada às quatro categorias de indicadores. Os parâmetros de rede e as métricas do motor gráfico operam como indicadores tecnológicos. Os questionários de autorrelato compõem os indicadores subjetivos. Os sensores inerciais nativos dos HMDs e os contadores do cicloergômetro fornecem os indicadores comportamentais, registrando a cinemática do exercício. Por fim, dispositivos vestíveis, como o *smartwatch*, extraem os indicadores fisiológicos. Este cenário demonstra que o modelo funciona como uma ferramenta de diagnóstico clínico, permitindo identificar se uma queda no desempenho motor decorre de limitações físicas do paciente ou de uma quebra na ilusão de presença causada por falhas técnicas do sistema.

## 4.6 Discussão Geral e Implicações

O modelo de avaliação de presença apresentado, assim como os fatores elencados, não deve ser interpretado como um protocolo rígido ou monolítico, mas como um *framework* dinâmico de avaliação. O uso prático em cenários reais de telerreabilitação exige adaptação ao contexto, em que a escolha das métricas depende da doença do paciente, dos equipamentos disponíveis em casa e dos objetivos do tratamento. O profissional deve selecionar o conjunto de indicadores que responda à necessidade clínica da sessão, priorizando dados que ajudem a entender o progresso físico do paciente.

Embora o modelo possa ser usado em diferentes situações, a importância de cada dimensão pode mudar conforme a condição de saúde. No contexto após um Acidente Vascular Cerebral (AVC), em que muitas vezes ocorre a fraqueza ou paralisia de um lado do corpo, as dimensões pessoal e de agência são as mais importantes. Nesses casos, a dificuldade motora cria uma diferença entre o que o paciente tenta fazer e o que

o personagem virtual realiza. Indicadores como a inclinação excessiva do corpo para compensar um movimento e a falta de simetria tornam-se os principais sinais da qualidade do exercício. Na doença de Parkinson, o foco do modelo desloca-se para as dimensões ambiental e de envolvimento devido às características motoras específicas da patologia, como a lentidão de movimentos, o tremor e o fenômeno de congelamento da marcha. A escolha dessas dimensões e métricas justifica-se pela forma como o cérebro do paciente processa estímulos externos para superar bloqueios internos.

A capacidade de aplicação do modelo no dia a dia do paciente permite que ele funcione mesmo sem o uso de todos os sensores ao mesmo tempo. Em casas onde não existem equipamentos para medir os batimentos cardíacos ou sensores para o corpo todo, o modelo se sustenta na comparação entre o desempenho do equipamento e os registros de movimento do jogo. A precisão da avaliação não depende de medir todas as variáveis, mas de encontrar sinais diferentes que apontem para o mesmo resultado. Essa estratégia permite separar falhas do computador de limitações físicas do paciente, garantindo que o tratamento seja avaliado de forma correta.

Além de avaliar a presença, o modelo serve como um guia para a criação de novos jogos de reabilitação (exergames). Cada dimensão aponta para necessidades práticas que os desenvolvedores devem seguir. Para garantir que o paciente sinta que controla suas ações, a rapidez do sistema e a correção automática de pequenos erros devem ser priorizadas em vez de gráficos muito pesados. O jogo deve oferecer respostas visuais ou sonoras imediatas para confirmar cada movimento. Para que o paciente sinta que o personagem virtual é uma extensão do seu corpo, o sistema deve permitir algum nível de personalização do avatar. O monitoramento em tempo real permite que o jogo mude de dificuldade sozinho, mantendo o paciente motivado e no nível de esforço adequado para a terapia.

Este modelo ajuda a unir o desenvolvimento de tecnologia com a prática da saúde. Ao transformar o conceito de presença em dados que podem ser medidos, a proposta permite que a tecnologia funcione como uma ferramenta real para a recuperação do paciente em casa.

## 4.7 Síntese

A estrutura final do modelo de avaliação de presença em telerreabilitação pode ser visualizada como um sistema de camadas integradas. No centro da experiência, encontram-se as seis dimensões fundamentais que definem se o paciente está presente no ambiente virtual: espacial, social, pessoal, ambiental, envolvimento e agência. Cada uma dessas dimensões é sustentada por uma matriz de quatro categorias de evidências que garantem a validade da medição.

- **Indicadores Subjetivos:** Registram a percepção interna do paciente por meio de perguntas selecionadas de instrumentos validados, representando o relato direto da experiência.
- **Indicadores Comportamentais:** Mapeiam as reações físicas e os padrões de movimento extraídos dos registros de dados do sistema, convertendo ações motoras em evidências de imersão.
- **Indicadores Fisiológicos:** Monitoram as respostas do organismo, como a variabilidade da frequência cardíaca e o ritmo respiratório, para validar o esforço e o engajamento durante a terapia.
- **Indicadores Tecnológicos:** Definem os limites de desempenho do equipamento, garantindo que a análise clínica não seja prejudicada por interferências técnicas como latência ou perda de rastreamento.

A principal característica deste modelo é a sua capacidade de distinguir falhas do sistema de limitações físicas do usuário. Ao cruzar esses dados, o terapeuta obtém um diagnóstico preciso da sessão, onde a presença deixa de ser um conceito abstrato e se torna um dado mensurável e útil para o ajuste do tratamento. Esta síntese prepara o caminho para o capítulo seguinte, no qual o modelo será submetido ao processo de validação por especialistas para confirmar sua aplicabilidade e eficácia em contextos reais de saúde.

---

## Validação do Modelo

---

Este capítulo detalha o processo de validação do modelo proposto, justificando a escolha da psicometria como o referencial científico para transformar a percepção subjetiva de presença em dados mensuráveis. Uma vez que o sentido de presença constitui um estado mental que não pode ser observado de forma direta, a avaliação psicométrica oferece as ferramentas necessárias para capturar esse fenômeno por meio de outras evidências.

### 5.1 Bases Teóricas da Validação

A validação de um instrumento consiste no processo de acumulação de evidências empíricas e teóricas para fornecer base científica às interpretações das pontuações obtidas (escores). Segundo Urbina [151], a validade não é uma propriedade estática ou inerente ao teste em si, mas sim refere-se ao grau de adequação, significação e utilidade das inferências específicas extraídas dos escores. Trata-se de um processo contínuo voltado à qualidade da inferência, de modo a garantir que as limitações da medida não resultem em decisões equivocadas ou interpretações inadequadas [94, 1].

A psicometria mostrou-se o referencial mais apropriado não apenas para validar, mas também para construir um modelo de avaliação de presença para exergames imersivos em ambientes virtuais de telerreabilitação. Esse campo procura medir traços latentes, entendidos como propriedades psicológicas que, por não serem observáveis diretamente, necessitam de comportamentos ou itens como representações empíricas para sua mensuração. O princípio desta ciência estabelece uma relação de causalidade na qual o traço latente atua como causa e o desempenho é observado como efeito. No contexto da telerreabilitação, a presença é compreendida como um estado psicológico latente e o nível de percepção do indivíduo predispõe a reações específicas, seja por meio de respostas a questionários ou de respostas físicas.

A literatura demonstra uma evolução significativa no conceito de validade, que passou de uma visão fragmentada a uma perspectiva unitária. Historicamente, entre as décadas de 1950 e 1970, prevaleceu o modelo trinitário, que segmentava a validade

em três tipos distintos e independentes: conteúdo, critério (preditivo e concorrente) e construto. Contudo, impulsionados pelos trabalhos seminais de Cronbach e Meehl [32] e, posteriormente, pela consolidação teórica de Samuel Messick [95] e pelas edições subsequentes dos *Standards for Educational and Psychological Testing*, ou somente Standards) para simplificação, os estudos passaram a compreender a validade como um conceito único sustentado por diferentes fontes de evidência. Dessa forma, a validade não deve ser compreendida como diferentes tipos de validação ou como o teste em si, mas como o uso dos resultados dele sob uma perspectiva unificada. Há diversas fontes de prova que, em conjunto, fortalecem a interpretação dos resultados do modelo, garantindo que ele realmente mede o que se propõe.

Embora a validade seja tratada como unitária, os *Standards* [1] atuais definem cinco categorias de fontes de evidência que compõem o argumento de validade. A abordagem baseada em argumentos exige uma articulação clara dos propósitos do teste, na qual cada fonte de evidência sustenta ou refuta o uso ou a interpretação proposta. A primeira fonte refere-se ao conteúdo do teste, analisando a relação entre os temas, o formato dos itens e as tarefas com o construto a ser medido, de modo a assegurar que o domínio esteja adequadamente representado. A segunda diz respeito aos processos de resposta, verificando se os processos cognitivos envolvidos correspondem aos definidos teoricamente. A terceira examina a estrutura interna, avaliando as relações estatísticas entre os itens, como a dimensionalidade e o funcionamento diferencial, que correspondem à estrutura teórica do construto. A quarta categoria envolve as relações com outras variáveis, ampliando a validade de critério original para incluir evidências convergentes e discriminantes. Por fim, a quinta fonte avalia as consequências da testagem, investigando os efeitos intencionais e não intencionais do uso do instrumento e garantindo que falhas de medição não gerem injustiças sociais ou sub-representações do construto.

O processo de validação exige o compromisso conjunto entre quem cria e quem utiliza o instrumento. O desenvolvedor é responsável por comprovar a qualidade técnica, definir a base teórica e garantir que a ferramenta seja confiável e livre de barreiras desnecessárias. Cabe a ele também estabelecer as normas de uso para evitar erros de aplicação. Por outro lado, o usuário deve possuir a formação necessária para seguir as instruções e avaliar se o instrumento é adequado para o público específico atendido. Essa cooperação assegura que os resultados obtidos sejam interpretados de forma correta e segura na prática profissional.

A literatura psicométrica demonstra convergência conceitual entre diretrizes internacionais e nacionais, com base na visão contemporânea e unitária da validade. Referenciais internacionais, como os *Standards for Educational and Psychological Testing* [1] e Urbina [151], e nacionais, representados por Hutz [60] e Pasquali [111], estabelecem que a validação constitui um processo contínuo de acumulação de evidências para

justificar a interpretação dos escores, rejeitando a noção de validade como propriedade fixa do instrumento. A distinção metodológica entre essas abordagens reside no enfoque prático de cada referencial. A perspectiva internacional, também considerada por Hutz no contexto brasileiro, prioriza o uso clínico, a avaliação psicológica e as consequências da medida. O referencial nacional de Pasquali concentra-se na arquitetura procedimental da elaboração do teste. O modelo brasileiro operacionaliza a teoria de forma estrutural, convertendo evidências de conteúdo e processos de resposta em regras de redação e critérios claros de retenção no âmbito teórico, consolidando o construto antes da coleta empírica de dados.

A organização das fontes de evidência adotadas neste trabalho segue o referencial de Pasquali [111], cuja arquitetura metodológica permite converter a teoria do traço latente em um sistema de medida concreto e operacional. O modelo de Pasquali organiza-se em polos teóricos, empíricos e analíticos, mas, considerando que o escopo deste estudo limita-se à elaboração do instrumento, aplicam-se exclusivamente os procedimentos teóricos. Esses procedimentos estruturam-se, sequencialmente, nas etapas de dimensionalidade, definições, operacionalização e análise teórica. A escolha dessa metodologia justifica-se pela necessidade de assegurar a integridade estrutural do modelo por meio de um esquema procedimental validado na literatura psicométrica. As subseções a seguir detalham a aplicação prática dessas etapas na construção do modelo proposto.

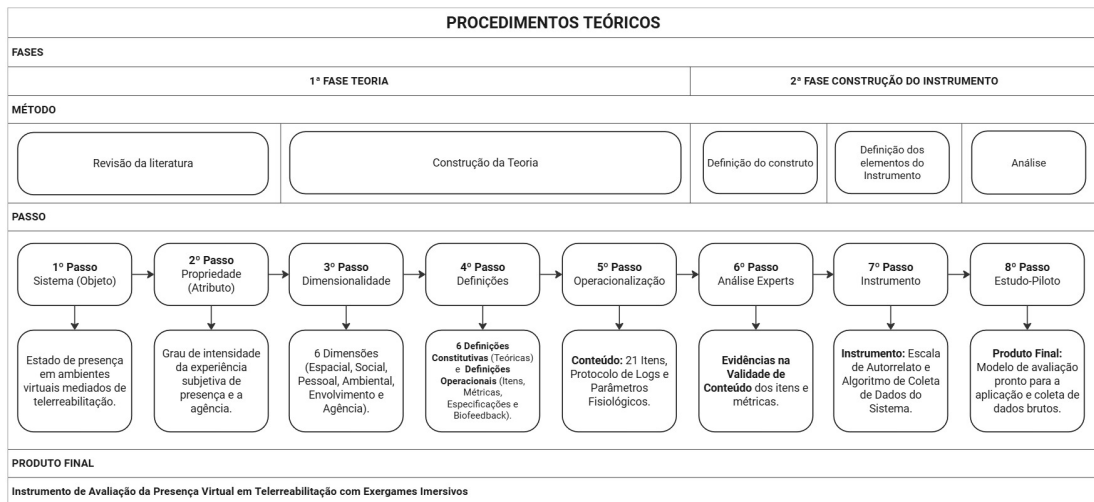
## 5.2 Estruturação Psicométrica e Validação

A construção do modelo multidimensional de avaliação da presença baseia-se no polo teórico, etapa voltada a explicar a teoria do traço latente e a transformá-la em medidas concretas. A validade do instrumento não depende apenas da seleção de itens ou testes, mas também do conjunto do arcabouço teórico que o sustenta. O rigor metodológico, ao converter o conceito abstrato de presença virtual em indicadores observáveis, assegura a correspondência entre a experiência subjetiva do paciente e os registros do sistema.

Conforme ilustrado na Figura 5.1, o percurso metodológico é organizado em duas fases distintas. A primeira fase, denominada teoria que delimita o sistema, o atributo e as seis dimensões do construto, com base na definição de presença adotada. A segunda fase é voltada à construção, que transforma essas definições teóricas em itens verbais e métricas multimodais. O organograma descreve esse processo contínuo de refinamento, em que cada etapa, desde a conceituação até a análise por especialistas, atua como um mecanismo de controle de qualidade, reduzindo a variância irrelevante e assegurando a consistência técnica do instrumento antes de sua aplicação clínica.

Os passos iniciais indicados pelo processo metodológico, referentes à delimitação do sistema (passo 1) e à caracterização da propriedade (passo 2), foram previamente

Figura 5.1: Organograma metodológico dos procedimentos teóricos para a construção do Modelo Multidimensional de Avaliação da Presença Virtual na Telerreabilitação.



Fonte: o autor adaptado de Pasquali [111].

estabelecidos e discutidos nos capítulos de fundamentação teórica e de desenvolvimento do modelo. No primeiro passo, o sistema foi compreendido não apenas como uma experiência isolada de um sistema de realidade virtual, mas como um ecossistema de saúde mediado por tecnologias imersivas e exergames que integram o contexto, o paciente e o terapeuta. Essa delimitação assegura que a mensuração da presença contribua efetivamente para o contexto da telerreabilitação.

No segundo passo, a presença virtual foi identificada como o traço latente e com sua respectiva magnitude. A intensidade da presença é mensurada pela capacidade do indivíduo de estabelecer localização espacial no ambiente virtual, de exercer agência sobre suas ações e de firmar conexão social com agentes mediados. Este nível de percepção determina as respostas empíricas observadas durante a interação. Assim, níveis elevados de presença tendem a produzir respostas semelhantes às do ambiente real, enquanto níveis reduzidos resultam em padrões distintos de interação. Como essas etapas foram consolidadas nos capítulos 2 e 4, as subseções a seguir descrevem o desenvolvimento do terceiro passo metodológico em diante.

### 5.2.1 Dimensionalidade

Uma decisão importante no processo de avaliação de um modelo com o propósito de mensurar um teor latente é a dimensionalidade, pois ela orienta a validade do instrumento. Essa escolha não pode ser arbitrária, mas consiste em mapear todo o domínio do construto, de modo que as facetas elencadas do fenômeno sejam representadas de forma equilibrada e consistente. O modelo não deve conter dimensões em excesso, o que

o tornaria redundante, nem dimensões em falta, o que resultaria em sub-representação. Assim, o alinhamento entre a definição das dimensões e a composição do instrumento garante que as relações estatísticas entre os itens representem corretamente a estrutura teórica do construto, fortalecendo a validade baseada na estrutura interna.

A presença, enquanto construto psicológico, constitui um fenômeno complexo e abstrato que envolve múltiplas dimensões da experiência humana em ambientes virtuais. Quando se tenta medir como uma variável unidimensional, há o risco de simplificar excessivamente o conceito, omitindo aspectos relevantes de sua composição e reduzindo-o a um sentimento simplista de “estar lá”. Tal abordagem não reflete a natureza multifacetada da presença buscada, que abrange componentes cognitivos, afetivos e sensório-motores. Assim, ao utilizar um instrumento com essa limitação em contextos complexos, como os de interação clínica mediada por tecnologia, torna-se difícil captar a amplitude do traço latente, o que compromete a precisão e a validade da avaliação [131].

A literatura dedicada ao tema demonstra de forma consistente que, apesar das diversas perspectivas teóricas existentes, há consenso quanto ao fato de que a presença possui múltiplas propriedades. Assim, caso o modelo idealizado desconsiderasse as divisões entre espaço, corpo, ação e aspectos sociais, haveria uma suavização do constructo, resultando em dados que não refletiriam a experiência pretendida pelo usuário. No âmbito da reabilitação, a aceitação da experiência virtual como uma realidade funcional pelo cérebro depende da validação integrada de diversas camadas da interação. A integração desses estímulos permite a construção de um modelo mental espacial coerente, transformando a simulação em um ambiente psicologicamente real e seguro para a execução de protocolos clínicos.

A escolha por seis dimensões (espacial, social, pessoal, ambiental, envolvimento e agência) baseia-se na utilidade clínica do instrumento. Na telerreabilitação, a medida de presença não constitui um fim em si mesma, mas sim um indicador de eficácia terapêutica. A estrutura multidimensional permite identificar a origem de eventuais impedições, sejam elas relacionadas à adesão ou ao desempenho. Assim, a multidimensionalidade representa um meio de converter uma percepção subjetiva em dados operacionais, possibilitando que o terapeuta ou o desenvolvedor ajuste o protocolo do exergame com precisão.

Essas dimensões devem operar de forma independente e não de modo estritamente ortogonal, como ocorre em outros modelos [137]. Segundo Pasquali, para que essa proposição seja válida, as dimensões precisam demonstrar independência teórica, pois a sobreposição semântica entre elas gera redundância e viola o princípio da parcimônia. Cada dimensão isola um aspecto específico da interação. A dimensão espacial refere-se à percepção neurológica de localização, operando de modo distinto da dimensão ambiental, que avalia a consistência estrutural e técnica do cenário virtual. No eixo perceptivo-motor, a dimensão pessoal relaciona-se ao sentimento de apropriação corporal do avatar,

diferenciando-se da dimensão de agência, que mensura a capacidade de controle motor e a causalidade das ações executadas. Paralelamente, a dimensão social aborda a percepção de intencionalidade e de conexão com o terapeuta, distinguindo-se do processamento intrapessoal avaliado pela dimensão de envolvimento, responsável por mensurar a alocação de recursos atencionais durante os exercícios clínicos.

A experiência imersiva resulta da integração simultânea dessas dimensões, na qual a alteração de um fator repercute em toda a estrutura. Uma anomalia na dimensão ambiental pode afetar a dimensão de agência por meio de atrasos na resposta motora do sistema, comprometendo a dimensão pessoal, pois o paciente tende a perder o sentimento de propriedade do corpo digital. Conseqüentemente, podem ocorrer a ruptura da ilusão de presença na dimensão espacial, a quebra da aliança mediada na dimensão social e a dispersão do foco na dimensão de envolvimento. A escolha da multidimensionalidade não é uma opção de *design*, mas uma exigência metodológica, ela garante que o instrumento seja sensível às nuances da tecnologia imersiva, fiel à complexidade da cognição humana e, acima de tudo, útil à prática clínica, fornecendo um mapa detalhado da experiência do paciente que um escore único jamais conseguiria oferecer.

### 5.2.2 Definições Constitutivas e Operacionais

A validade de construto exige a correspondência precisa entre o conceito teórico e sua manifestação empírica. Nesta etapa, as definições constitutivas delimitam o significado de cada dimensão no referencial da telerreabilitação, enquanto as definições operacionais estabelecem as operações concretas necessárias para a coleta de dados. Para evitar a redundância com os conceitos já discutidos, a Tabela 5.1 sintetiza essa transição, conectando cada dimensão aos seus respectivos indicadores e métricas de controle.

Esta organização garante que cada dimensão possua uma ancoragem dupla. O relato subjetivo do paciente, colhido por questionários, é confrontado com as flutuações autonômicas (como a variabilidade da frequência cardíaca e frequência respiratória) e com o desempenho técnico do sistema. Essa integração multimodal protege o modelo contra interpretações equivocadas, assegurando que o escore final de presença reflita a interação real do usuário com o protocolo clínico.

A definição clara destes componentes permite que o modelo avance para a fase de operacionalização. Nesta próxima etapa, os conceitos abstratos são convertidos em itens verbais específicos para os questionários e em parâmetros técnicos para os sensores, consolidando a construção do instrumento de medida antes que ele seja submetido à avaliação de especialistas.

Tabela 5.1: Matriz de Operacionalização: Tradução das Dimensões em Conceitos de Mensuração.

Dimensão	Definição Constitutiva	Definição Operacional
<b>Espacial</b>	Percepção de localização física no ambiente digital em substituição ao espaço real.	Mensuração da exploração ativa do cenário e da fidelidade visual da perspectiva do usuário.
<b>Social</b>	Sentido de conexão e reconhecimento de intencionalidade no terapeuta virtual.	Avaliação da interação interpessoal, da estabilidade comunicativa e da sincronia entre os avatares.
<b>Pessoal</b>	Reconhecimento do corpo virtual como extensão funcional do próprio organismo.	Verificação da propriedade corporal por meio da sincronização sensório-motora e de reações reflexas.
<b>Ambiental</b>	Percepção de consistência e realismo nas leis físicas do cenário simulado.	Análise da continuidade das interações físicas e da fluidez do movimento diante das regras do software.
<b>Envolvimento</b>	Estado de atenção focada e redução da consciência sobre estímulos externos ao jogo.	Observação do foco atencional sustentado e do nível de compromisso físico com os desafios propostos.
<b>Agência</b>	Autoria das ações virtuais decorrentes da intenção motora voluntária.	Determinação da intencionalidade motora e da precisão de resposta do sistema aos comandos do usuário.

Fonte: o autor.

### 5.2.3 Operacionalização

A fase de operacionalização descreve o processo de estruturação dos itens e das tarefas do sistema. O conjunto inicial de perguntas resultou de uma revisão de questionários preexistentes na literatura sobre a avaliação da presença e da saúde. A escolha de extrair itens de instrumentos consolidados baseia-se na otimização do processo de construção da pesquisa. A utilização de perguntas previamente validadas reduz os erros associados à criação de novas medidas e assegura a confiabilidade na captação do conceito avaliado.

Os itens selecionados foram distribuídos nas seis dimensões do modelo, conforme detalhado na Tabela 2.1. A escolha buscou um equilíbrio, garantindo a variedade de perguntas necessária para abranger o propósito de cada dimensão, ao mesmo tempo em que controlou o tamanho do questionário para evitar o cansaço do paciente durante sua aplicação. Após essa etapa de seleção, os itens passaram por um refinamento guiado pelos princípios destacados por Pasquali [111]. A Tabela 5.2 apresenta a avaliação de cada pergunta quanto aos parâmetros de comportamento, objetividade, simplicidade, clareza, relevância, precisão, variedade e modalidade. A análise exigiu a reescrita das frases que não atendiam plenamente a essas regras, com foco principal em simplicidade e clareza. Optou-se por adaptar o texto em vez de manter a tradução exata da versão original. Essa decisão teve como objetivo adequar a linguagem ao nível de compreensão da população-alvo, preservando, ao mesmo tempo, a ideia central das perguntas previamente validadas na literatura.

O processo de refinamento baseou-se nos doze critérios de construção propostos

por Pasquali. Para manter a objetividade, a análise concentrou-se nos oito parâmetros aplicáveis à avaliação de itens individuais: comportamento, objetividade, simplicidade, clareza, relevância, precisão, variedade e modalidade. O critério de comportamento exige que a pergunta expresse uma ação ou uma sensação concreta. O critério de objetividade exige formulações que evitem respostas baseadas na aprovação social. O critério de simplicidade determina que cada enunciado contenha apenas uma ideia central. O critério de clareza estabelece que a linguagem seja compreensível ao grupo de menor escolaridade da população-alvo. O critério de relevância assegura a relação entre a pergunta e a dimensão teórica avaliada. O critério de precisão exige foco específico na característica medida. O critério de variedade recomenda a diversificação semântica nas formulações. O critério de modalidade restringe os termos absolutos que limitem a variação das respostas.

- ITEM 1: Este enunciado fundamenta a dimensão espacial. A frase expressa a percepção de localização por meio do relato direto da experiência do usuário. A formulação contém uma única ideia e se isenta de termos técnicos, o que garante a compreensão por pacientes de diferentes níveis de escolaridade. A estrutura omite advérbios extremos, transferindo a medição da intensidade para a escala de resposta. O item utiliza a terminologia padrão da literatura e atua como uma afirmação de concordância inicial, o que contribui para a estabilidade estatística do instrumento.
- ITEM 2: Este enunciado complementa a dimensão espacial ao avaliar o espaço tridimensional. A versão original foi reformulada para eliminar a expressão "de alguma forma", removendo um termo vago e concentrando a ideia em um único aspecto da experiência. O verbo "cercar" traduz o conceito técnico de imersão em 360 graus em uma representação espacial acessível ao público em geral. A exclusão de termos extremos permite medir com maior clareza a intensidade nas escalas de resposta. Ao focar nas fronteiras do ambiente em vez da localização física, a pergunta exige um nível específico de percepção espacial, abrangendo uma nova faceta do traço latente.
- ITEM 3: Este enunciado introduz a dimensão social ao focar na capacidade de comunicação do paciente. A versão original foi reformulada para substituir a expressão "expressar de forma eficaz", considerada abstrata para usuários com menor letramento, por "comunicar bem". A alteração adequou o vocabulário à população clínica e manteve a estrutura de ideia única. A frase descreve uma ação social direta e o sentimento de competência associado à troca de informações com o outro avatar. A exclusão de termos absolutos permite avaliar o sucesso comunicativo por meio das âncoras da escala de resposta. O item exige um nível intermediário de exigência, exigindo que o usuário tenha testado ativamente a comunicação durante a sessão de telerreabilitação.
- ITEM 4: Este enunciado consolida a dimensão social ao avaliar o reconhecimento de uma ação conjunta. A estrutura afirmativa relata a percepção direta de reciprocidade entre o paciente e o avatar virtual. A formulação corrobora uma ideia única e emprega vocabulário corrente no contexto. A omissão de advérbios de intensidade delega a medição do grau de interação às opções da escala de resposta. A pergunta ocupa o centro do traço latente e valida a ocorrência do evento interativo antes de buscar sobre a sua qualidade.
- ITEM 5: Este enunciado aprofunda a dimensão social ao avaliar a percepção de copresença. A frase foca na sensação de compartilhamento do ambiente virtual, permitindo verificar se o avatar é percebido como uma entidade que ocupa o mesmo espaço do paciente. A estrutura contém uma única ideia e utiliza vocabulário comum, substituindo termos teóricos por expressões de fácil compreensão. O verbo "parecer" ajusta a formulação à natureza subjetiva do relato e evita induzir a resposta, focando na sensação do paciente em vez de um fato técnico. A pergunta complementa o

item anterior ao deslocar o foco da interação ativa para a proximidade espacial mediada, abrangendo, assim, um novo aspecto da dimensão.

- ITEM 6: Este enunciado encerra a dimensão social ao introduzir um componente afetivo e avaliativo na interação. A frase foca na percepção de confiança no agente virtual, elemento essencial para estabelecer a aliança terapêutica e promover a adesão ao programa de reabilitação. A estrutura apresenta uma formulação minimalista, centrada em um único atributo, com vocabulário de fácil compreensão. A ausência de termos absolutos permite avaliar o nível de confiança por meio da escala de resposta. O item diferencia-se dos anteriores por ir além da mera ocorrência ou da proximidade da interação, avaliando a qualidade percebida do terapeuta virtual e abrangendo, assim, um novo aspecto da presença social no modelo.
- ITEM 7: Este enunciado introduz a dimensão pessoal ao avaliar a integração do avatar na assimilação corporal do paciente. A versão original apresentava uma formulação dupla ao perguntar simultaneamente sobre a proximidade de objetos e outros avatares. Com a reformulação, a expressão passou a ser “do que te rodeia”, o que garante uma única ideia. O conceito de proximidade física traduz a noção teórica de personificação em linguagem acessível. A pergunta diferencia-se dos itens da dimensão espacial por focar na perspectiva do corpo virtual em relação ao ambiente, abrangendo, assim, um novo aspecto da presença do *self* no modelo.
- ITEM 8: Este enunciado aprofunda a dimensão pessoal ao avaliar o núcleo da personificação. A frase descreve a percepção de incorporação da representação virtual na apropriação corporal do paciente. A formulação apresenta uma única ideia e utiliza vocabulário direto e acessível. O pronome interrogativo permite medir a intensidade do sentimento de posse corporal por meio das âncoras da escala de resposta. Ao focar no avatar como extensão do próprio corpo, a pergunta diferencia-se da avaliação de proximidade espacial e aborda um nível mais profundo da dimensão.
- ITEM 9: Este enunciado amplia a dimensão pessoal ao avaliar o alinhamento entre a identidade virtual e a autorrepresentação do paciente. A versão original apresentava redundância sintática e vocabulário formal, e foi reformulada para substituir expressões complexas por verbos mais simples, a estrutura foca em uma ação concreta de customização. Ao introduzir o fator estético da representação digital, a pergunta diferencia-se dos indicadores de integração corporal. O pronome quantitativo permite avaliar o esforço investido na criação do avatar por meio da escala de resposta, abrangendo, assim, o aspecto da identidade no modelo de personificação.
- ITEM 10: Este enunciado encerra a dimensão pessoal ao avaliar o investimento afetivo do paciente em sua representação digital. A frase descreve uma atitude de cuidado e identificação com o “eu” virtual, com foco no relato direto de um estado interno. A formulação apresenta uma estrutura minimalista, com uma única ideia central e vocabulário de fácil compreensão. O pronome interrogativo “quanto” permite medir a intensidade da importância atribuída, sem recorrer a termos extremos ou a respostas binárias. A pergunta complementa o item anterior ao passar da personalização para a valorização subjetiva, abrangendo o aspecto afetivo da personificação.
- ITEM 11: Este enunciado introduz a dimensão ambiental ao avaliar a coerência e a validade ecológica do ambiente virtual. A versão original utilizava o termo “consistente”, substituído por “corresponder” e a expressão “o que você vivencia” para simplificar o nível de abstração. A formulação mantém uma estrutura linear, com uma única ideia, focada na comparação entre o mundo físico e o virtual e suas respectivas regras. O termo “o quanto” permite medir o grau de semelhança por meio das âncoras da escala de resposta, evitando classificações binárias e respostas extremas. A pergunta diferencia-se das dimensões centradas no paciente ou na interação social ao avaliar exclusivamente o realismo do cenário em que a ação ocorre, abrangendo, assim, o aspecto da ilusão de plausibilidade no modelo.

- ITEM 12: Este enunciado avalia a naturalidade motora na dimensão ambiental. A versão original apresentava uma estrutura dupla ao citar “movimentos corporais para se deslocar ou agir”, simplificada para focar exclusivamente na execução das tarefas e evitar ambiguidade na resposta. A alteração eliminou redundâncias e garantiu a avaliação de uma única ideia central. O adjetivo “natural” traduz a complexidade da movimentação virtual em percepção sensorial direta, acessível a qualquer nível de escolaridade. A frase evita termos técnicos e atribui a gradação da fluidez percebida às opções da escala de resposta. A pergunta diferencia-se dos indicadores de realismo visual por focar na resposta física ao ambiente.
- ITEM 13: Este enunciado conclui a dimensão ambiental ao avaliar a funcionalidade do cenário no propósito clínico. A redação original, que descrevia o ambiente como apenas natural, foi considerada ampla e abstrata. A principal adaptação neste item restringiu o escopo da pergunta à utilidade prática do ambiente virtual, convertendo uma percepção estética em um julgamento de adequação funcional. A linguagem foi simplificada para que o paciente avalie se o cenário suporta as tarefas motoras propostas, sem ambiguidades. Ao focar na viabilidade do exercício, o item se diferencia das métricas de realismo visual e aborda a eficiência da aplicação.
- ITEM 14: Este enunciado inicia a dimensão de envolvimento ao medir o nível de imersão por meio da exclusão de estímulos externos. A frase foca no relato de um estado interno de consciência, essencial para verificar se a atenção do paciente foi capturada pelo contexto virtual. A estrutura é minimalista, com uma única ideia central e uma linguagem direta que evita termos complexos típicos do fenômeno. Ao questionar a percepção do mundo físico, o item serve como âncora de validade para o estado de *flow*, diferenciando-se dos indicadores de presença espacial por focar na competição entre estímulos reais e virtuais.
- ITEM 15: Este enunciado avalia o lado emocional e motivacional do envolvimento. A redação original não foi reformulada; porém, houve a análise de substituir o termo “cativar” por sinônimos como “encantado”, “envolvido” e “fascinado”. Foi priorizada sua redação original, e sua simplicidade linguística será avaliada nas etapas subsequentes. De qualquer forma, a estrutura foca em um estado interno de absorção na experiência virtual, sem recorrer a jargões psicológicos complexos. A reformulação limitou-se a evitar o uso de advérbios absolutos, como “completamente”, transferindo a gradação desse estado para a escala de resposta. O item contribui para identificar o nível de atração que o sistema exerce sobre o utilizador, o que é fundamental para a compreensão da adesão.
- ITEM 16: Este enunciado avalia a estabilidade da atenção durante a terapia. A redação original foi reformulada para simplificar a estrutura de ideia dupla que mencionava “tarefa ou ambiente”, concentrando o foco apenas na execução das tarefas. A alteração eliminou termos vagos e garantiu que o paciente relatasse um estado interno de concentração sem ambiguidades. A reformulação evita o uso de advérbios de intensidade, transferindo a frequência e a força desse foco para a escala de resposta. O item permite identificar a manutenção do estado de fluxo, o que é crucial para distinguir o simples uso da tecnologia do verdadeiro envolvimento.
- ITEM 17: Este enunciado encerra a dimensão de envolvimento ao avaliar a profundidade do estado de fluxo psicológico. A frase descreve a distorção da percepção temporal, um indicador comportamental clássico de absorção cognitiva em ambientes virtuais. A formulação mantém uma ideia única e utiliza uma metáfora de domínio público “perder a noção do tempo”, o que facilita a compreensão por pacientes de diversas faixas etárias. A estrutura evita qualificadores extremos, permitindo que a escala de resposta capture se a perda de consciência temporal foi parcial ou total. O item é fundamental para validar se a experiência de telerreabilitação transcendeu a mera tarefa mecânica, alcançando um nível de engajamento intrínseco.
- ITEM 18: Este enunciado inicia a dimensão de Agência ao focar na verossimilhança da interação

motora. A versão original foi reformulada para substituir a expressão abstrata “ambiente representado” pela locução direta “coisas no ambiente”, o que concentra o foco em objetos tangíveis. A redação descreve a percepção de realismo na ação, assegurando que o paciente avalie a qualidade de sua influência no mundo digital. A formulação não contém termos técnicos e atribui a intensidade da percepção às âncoras da escala, permitindo analisar se a resposta do sistema às ações do usuário é percebida como natural e fidedigna.

- ITEM 19: Este enunciado avalia a percepção de domínio motor na dimensão de agência. A redação original, que questionava a capacidade de “mover ou manipular objetos”, foi reformulada para focar no conceito de controle, eliminando a estrutura de ideia dupla e tornando o item mais direto. A formulação utiliza vocabulário simples para traduzir a eficácia da interface em uma sensação de competência pessoal. A estrutura mantém a ausência de termos absolutos, permitindo que a escala de resposta capture a gradação entre hesitação motora e controle total, validando se o paciente se sente o autor efetivo dos próprios movimentos.
- ITEM 20: Este enunciado avalia a particularidade temporal da Agência e a sincronia do sistema. A versão original foi simplificada, substituindo o termo “experimentou” por “percebeu” e a expressão “resultados esperados” por uma descrição direta da relação entre o movimento real e o virtual. Esta alteração garante a clareza técnica necessária para que o paciente identifique falhas na resposta do sistema. A estrutura foca numa única ideia de atraso temporal e utiliza uma linguagem comum, não necessariamente a mais usada na avaliação de sistemas interativos, sendo assim, fundamental para medir barreiras tecnológicas que prejudicam a agência.
- ITEM 21: Este enunciado encerra a dimensão de Agência e o instrumento ao avaliar a rapidez da adaptação cognitiva e motora ao ambiente simulado. A frase descreve o processo de ajuste inicial, crucial para o sucesso do processo clínico como um todo. A formulação é linear e utiliza o conceito de “se ajustar”, que é bem compreendido independentemente do nível de escolaridade. O uso do advérbio “rapidamente” permite captar a eficiência da adaptação numa escala graduada, sem induzir a supor que a experiência foi positiva ou negativa. O item fecha o espectro da agência ao cobrir o momento inicial da interação, consolidando a robustez técnica do modelo.

A qualidade individual dos itens foi assegurada pela aplicação dos principais critérios, nos quais cada enunciado foi revisado para eliminar termos técnicos e estruturas gramaticais complexas, garantindo que o paciente se concentre apenas no relato de sua experiência. A exclusão de advérbios de intensidade nos itens permite que a mensuração do fenômeno ocorra exclusivamente na escala de resposta, evitando o viés de indução.

Ao analisar as regras do conjunto do instrumento, relacionadas aos critérios de amplitude e equilíbrio, observa-se que o questionário abrange todo o construto de presença, desde a percepção espacial básica até aos níveis avançados de agência e envolvimento emocional. Isso garante que nenhum aspecto essencial da experiência de telereabilitação seja negligenciado. A distribuição dos itens pelas seis dimensões (espacial, social, pessoal, ambiental, envolvimento e agência) foi planejada para evitar sobrecarga de qualquer fator. Essa proporção reduz a fadiga do respondente e permite captar o traço latente em diferentes níveis de exigência.

O processo de refinamento resultou em uma estrutura técnica sólida, na qual cada escolha de vocabulário possui a devida justificativa. A Tabela 5.2 resume a adequação dos

itens, apresentando, de forma mais direta, sua conformidade com as regras selecionadas e aplicadas a cada enunciado.

Tabela 5.2: Avaliação dos Itens segundo os Critérios de Pasquali

Dimensão	Código	Redação do Item	Comp	Obj	Simp	Clar	Rel	Prec	Var	Mod
Espacial	ITEM 1	Eu me senti presente no espaço virtual.	A	A	A	A	A	A	A	A
	ITEM 2	<i>Original:</i> De alguma forma, senti que o mundo virtual me cercava. <i>Reformulado:</i> Senti que o mundo virtual me cercava.	A	A	I	A	A	A	A	A
Social	ITEM 3	<i>Original:</i> Eu senti que fui capaz de me expressar de forma eficaz. <i>Reformulado:</i> Eu senti que consegui me comunicar bem.	A	A	A	P	A	A	A	A
	ITEM 4	Eu senti que o terapeuta (virtual) e eu interagimos.	A	A	A	A	A	A	A	A
	ITEM 5	Pareceu que o terapeuta virtual compartilhava o ambiente virtual comigo.	A	A	A	A	A	A	A	A
Pessoal	ITEM 6	Eu senti que o terapeuta virtual era confiável.	A	A	A	A	A	A	A	A
	ITEM 7	<i>Original:</i> Ao usar seu avatar, você sente que está fisicamente próximo dos objetos e de outros avatares? <i>Reformulado:</i> Ao usar seu avatar, você sente que está fisicamente próximo do que te rodeia no mundo virtual?	A	A	I	A	A	A	A	A
	ITEM 8	Quanto você sente que seu avatar faz parte do seu corpo?	A	A	A	A	A	A	A	A
	ITEM 9	<i>Original:</i> Em que medida você personalizou seu avatar para que ele tenha a aparência que tem? <i>Reformulado:</i> O quanto você escolheu as características e a aparência do seu avatar?	A	A	I	P	A	A	A	A
Ambiental	ITEM 10	Quanto você se importa com a aparência do seu avatar?	A	A	A	A	A	A	A	A
	ITEM 11	<i>Original:</i> O quanto sua experiência no ambiente virtual pareceu consistente com sua experiência no mundo real? <i>Reformulado:</i> O quanto a experiência no ambiente virtual correspondeu ao que você vivencia no mundo real?	A	A	A	P	A	A	A	A
	ITEM 12	<i>Original:</i> Quão natural foi realizar os movimentos corporais para se deslocar ou agir dentro do jogo? <i>Reformulado:</i> Quão natural foi realizar os movimentos para realizar as tarefas do jogo?	A	A	I	A	A	A	A	A
Envolvimento	ITEM 13	<i>Original:</i> O ambiente representado parece natural. <i>Reformulado:</i> O ambiente do jogo foi adequado para a realização dos exercícios?	A	A	I	A	A	A	A	A
	ITEM 14	Quão consciente você estava do mundo real ao seu redor enquanto navegava no mundo virtual?	A	A	A	A	A	A	A	A
	ITEM 15	<i>Original:</i> Eu estava completamente cativado pelo mundo virtual. <i>Reformulado:</i> Eu me senti cativado (encantado/envolvido/fascinado) pelo mundo virtual.	A	A	A	A	A	A	A	P
	ITEM 16	<i>Original:</i> Houve momentos em que você se sentiu completamente focado na tarefa ou no ambiente? <i>Reformulado:</i> Houve momentos em que você se sentiu focado na realização dos exercícios?	A	A	I	A	A	A	A	P
Agência	ITEM 17	Você estava envolvido a ponto de perder a noção do tempo?	A	A	A	A	A	A	A	A
	ITEM 18	<i>Original:</i> Minha interação com o ambiente representado parece realista. <i>Reformulado:</i> A forma como eu interagi com as coisas no ambiente pareceu realista.	A	A	A	P	A	A	A	A
	ITEM 19	<i>Original:</i> Quão bem você conseguiu mover ou manipular objetos no ambiente virtual? <i>Reformulado:</i> O quanto você sentiu que tinha controle para realizar as ações no ambiente virtual?	A	A	I	A	A	A	A	A
	ITEM 20	<i>Original:</i> Quanto atraso você experimentou entre suas ações e os resultados esperados? <i>Reformulado:</i> Quanto atraso você percebeu entre o seu movimento real e o movimento virtual?	A	A	A	P	A	A	A	A
	ITEM 21	Quão rapidamente você se ajustou à experiência do ambiente virtual?	A	A	A	A	A	A	A	A

Legenda: Comp: Comportamental; Obj: Objetividade; Simp: Simplicidade; Clar: Clareza; Rel: Relevância; Prec: Precisão; Var: Variedade; Mod: Modalidade.

A: Adequado; P: Parcial; I: Inadequado.

Fonte: o autor.

A estruturação destes itens finaliza a fase de construção do instrumento, transformando os conceitos teóricos em um instrumento de medida unificado, juntamente com as

métrica objetivas já discutidas. Com a conclusão desta etapa, o modelo possui a maturidade necessária para ser submetido à análise de especialistas na fase seguinte de validação.

#### **5.2.4 Análise Teórica dos Itens**

A análise teórica constitui o estágio inicial de desenvolvimento de um instrumento, correspondendo a fase final do polo teórico de Pasquali [112] e à fase de planejamento descrita por Hutz, Bandeira e Trentini [60]. Este procedimento metodológico visa assegurar que a representação empírica do construto seja fidedigna e tecnicamente viável antes da coleta de dados em larga escala. A integração dessas abordagens às diretrizes contemporâneas dos *Standards for Educational and Psychological Testing* permite a consolidação de duas fontes essenciais de evidência de validade [1].

##### **(A) Análise Semântica e Evidências Baseadas nos Processos de Resposta**

A análise semântica de Pasquali atende às diretrizes de processos de resposta dos *Standards* e da literatura nacional [60]. O objetivo desta etapa é avaliar o texto dos itens, sendo que o procedimento verifica se a população em geral compreende o questionário de forma correta. Isso garante que as respostas reflitam a percepção do traço latente, evitando erros causados por vocabulário inadequado ou frases confusas. Dessa forma, comprova-se que a interpretação do respondente corresponde à intenção teórica do instrumento.

##### **Estratégia de Avaliação**

Para a avaliação desse modelo foi escolhido a aplicação de questionários estruturados, a escolha por esse formato justifica-se pela capacidade de coletar dados padronizados sobre a compreensão textual junto a uma amostra representativa. A aplicação de questionários viabiliza o registro sistemático das interpretações e das dificuldades de leitura dos participantes frente aos enunciados propostos.

Neste tipo de método avaliativo a ordem de apresentação das perguntas afeta diretamente o processo cognitivo do participante e o agrupamento de itens da mesma dimensão induz a respostas padronizadas, enquanto a disposição totalmente aleatória eleva a carga mental. Para pacientes em programas de telerreabilitação, a sobrecarga tanto corporal quanto cognitiva aumenta a probabilidade de erros interpretativos e de abandono do próprio instrumento. Portanto, a estratégia adotada para a avaliação do modelo nesse primeiro momento consistiu em organizar os itens em três grupos de exigência cognitiva progressiva, intercalando as dimensões em diferentes sessões sem apresentar seus títulos ou temáticas:

- **Grupo 1:** engloba as dimensões espacial e ambiental. Exige menor esforço cognitivo por avaliar elementos concretos e externos ao indivíduo.
- **Grupo 2:** combina as dimensões de agência e social. Direciona o foco para a capacidade motora e para a comunicação com o agente externo.
- **Grupo 3:** agrupa as dimensões pessoal e de envolvimento. Exige maior reflexão sobre os estados internos e subjetivos do usuário.

Para auxiliar a “visualização” do contexto de aplicação futura do questionário, foi adotado um cenário descritivo prévio, em substituição à imersão real em um sistema de realidade virtual, que atende aos limites operacionais do polo teórico de Pasquali, onde caso o participante fosse submetido a um teste real, as respostas poderiam ser influenciadas por limitações técnicas do equipamento usado ou aplicação, em vez de refletirem o foco no conceito pretendido pelo modelo. A imposição do uso de tecnologia nesta fase introduziria complexidades irrelevantes, como o efeito de novidade ou anomalias de medida descritas pelos *Standards*. O cenário em formato de texto atua como um contexto padronizado que estabelece uma linha de base mental uniforme para que os participantes avaliem os itens sob o mesmo contexto referencial. O quadro a seguir apresenta o cenário utilizado na avaliação.

### Cenário de Referência

Você é um paciente em sessões de fisioterapia. Está sentado na sala de sua casa e utiliza óculos de realidade virtual que cobrem todo o ambiente ao redor. Ao ligar o equipamento, a visão da sala é substituída por um ambiente gerado por computador. Neste cenário, três elementos estão presentes:

- **O seu corpo:** ao olhar para baixo, você não vê o seu corpo físico, mas enxerga um corpo digital chamado de avatar. Quando você move o seu braço na vida real, o braço do avatar se move simultaneamente.
- **A sua tarefa:** o cenário é um quarto e o seu objetivo é utilizar as mãos do avatar para coletar objetos localizados em uma mesa e organizá-los em uma prateleira.
- **O profissional:** há um segundo avatar na mesma sala. Ele representa o fisioterapeuta, que trabalha de outro local por meio de um computador. A comunicação ocorre por áudio e gestos. O profissional demonstra os exercícios e indica a ordem dos objetos a serem guardados.

## Estrutura e Aplicação do Instrumento de Sondagem

A aplicação do formulário ocorreu de forma online e assíncrona, o instrumento foi estruturado em seis seções principais. A primeira seção apresenta o termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE). A segunda coleta o perfil demográfico do respondente, incluindo idade, sexo biológico, grau de escolaridade, grau de familiaridade com reabilitação e tecnologias imersivas. A terceira seção introduz as instruções de preenchimento e o cenário de ancoragem detalhado anteriormente.

Após a leitura do cenário, as seções três, quatro e cinco apresentam os itens dos grupos 1, 2 e 3, respectivamente. Para cada enunciado, o participante realiza duas tarefas principais. Primeiro, avalia a facilidade de compreensão por meio de uma escala do tipo Likert de 5 pontos, que varia de “muito fácil de entender” a “muito difícil de entender”. Segundo, responde a uma questão aberta sobre o significado de expressões centrais do item. Esta abordagem foi proposital, visando substituir a técnica de paráfrase completa para reduzir a fadiga mental, permitindo identificar ambiguidades e garantir que a interpretação do respondente corresponda à intenção teórica do instrumento.

A sexta seção encerra o questionário com uma avaliação métrica do próprio formulário, onde o participante classifica a extensão do instrumento em uma escala Likert e utiliza campos abertos para relatar dificuldades gerais de leitura.

### **Discussão dos Resultados da Validação Semântica**

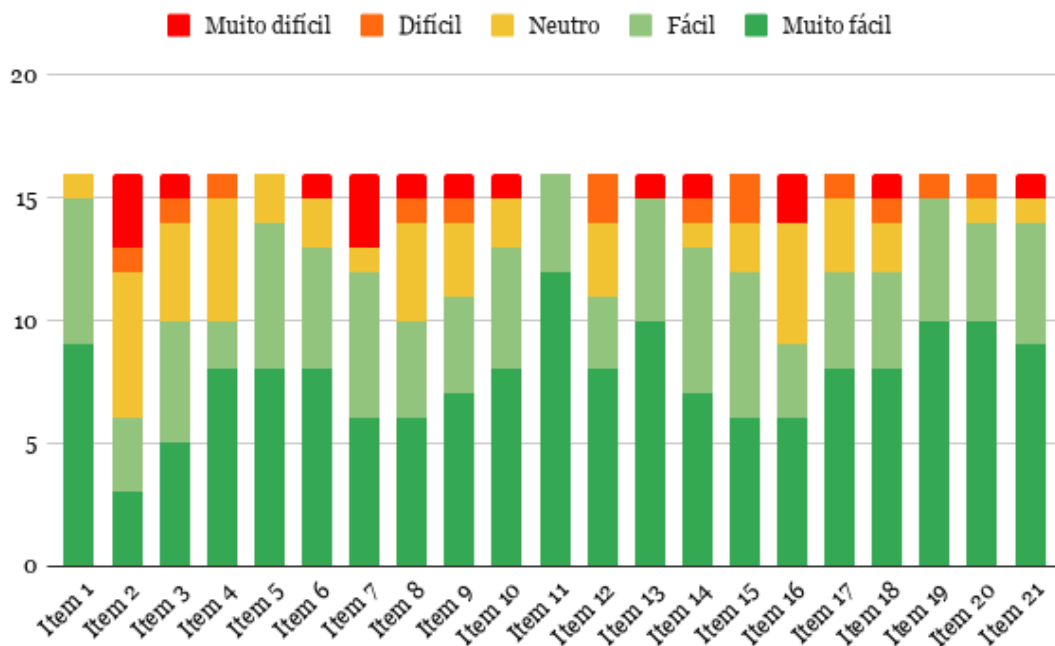
A validação semântica contou com 16 participantes, divididos igualmente entre homens e mulheres. A idade variou de 18 a 55 anos, com maior concentração (sete pessoas) na faixa de 18 a 25 anos. A maioria do grupo (doze participantes) possui ensino superior ou pós-graduação. Sobre o contexto da pesquisa, nove relataram experiência prévia com fisioterapia e 13 já utilizaram realidade virtual.

O objetivo desta etapa foi verificar se o público compreende o vocabulário das perguntas. Os resultados apontam adequação semântica, conforme ilustrado na Figura 5.2. As respostas qualitativas indicam que os termos foram associados aos conceitos teóricos corretos, sem gerar ambiguidades:

- “Presente no espaço virtual”: compreendido como imersão sensorial. Os respondentes descreveram o termo como “percepção de realidade”, “estar imerso” e “sensação de estar vivendo esse momento”.
- “Cercava”: associado à localização espacial. As respostas incluíram estar “ao redor”, “me rodeava” e “como se eu estivesse nele”.
- “Movimentos de forma natural”: interpretado como agência motora e intuitividade. Os usuários definiram como movimentos “que se comparam com o cotidiano”, “fáceis de inferir” e executados “sem dificuldade”.

- “Atraso”: o conceito de latência foi decodificado por usuários leigos como “delay”, “demora na interpretação” e “tempo de resposta da ação real para a realidade virtual”.
- “Cativado”: traduziu o constructo de envolvimento, sendo definido como estar “atraído”, “animado”, “estimulado” ou “fascinado”.

Figura 5.2: Nível de facilidade de compreensão dos itens por dimensão na validação semântica.



Fonte: o autor.

As dificuldades de interpretação concentraram-se em duas perguntas. O item que compara a experiência virtual com o mundo físico gerou conflito, onde a falta de sensações de peso e de tato dificultou a resposta. Isso demonstra que perguntas amplas de comparação geram confusão na medição. O item sobre comunicação eficaz também apresentou problemas. Como o cenário em texto não focava em interações sociais, os participantes não tinham uma memória clara para avaliar. A análise mostra que a barreira cognitiva ocorre pela exigência de abstração. Avaliar leis físicas imaginárias ou interações que não aconteceram atrapalha o preenchimento e expõe as limitações de questionários puramente teóricos.

Notou-se uma diferença geracional ao explicar conceitos técnicos. Pessoas de 18 a 35 anos usam termos como “latência” para falhas de sincronia. Já os participantes de 36 a 55 anos descrevem o mesmo problema como uma demora do próprio corpo em responder. Sobre movimentos naturais, os mais jovens focam na interface do jogo, enquanto os mais velhos avaliam o esforço físico exigido. Isso indica que pacientes mais velhos tendem a

atribuir as falhas do sistema a limitações físicas próprias. Essa observação justifica a troca de jargões de software por termos focados na experiência corporal do usuário.

O formato do questionário também afetou a compreensão e indicam a necessidade de explicitar, de forma mais enfática a distinção entre a análise da clareza do item e a avaliação da experiência imersiva. O agrupamento da escala Likert (que mede o constructo) com a pergunta aberta (que pede o significado da palavra) induziu os usuários ao erro de interpretação.

De modo geral, os itens obtiveram índices satisfatórios de facilidade de compreensão na escala avaliativa. As respostas abertas confirmam que, mesmo sem conhecimento prévio sobre as dimensões teóricas de análise, os participantes interpretaram os conceitos de presença, agência e interação de forma correspondente aos construtos pretendidos. Isso demonstra a eficácia do cenário imaginativo como ferramenta de ancoragem para esta fase do teste. Os obstáculos metodológicos relatados, como a fadiga por digitação e a exigência temporal de abstração, não ocorrerão na aplicação definitiva. Na prática clínica, o questionário utilizará exclusivamente respostas em escala e será administrado logo após o uso do sistema virtual. Esta consolidação dos dados encerra a validação com a população geral e assegura que a estrutura textual do instrumento está preparada para a próxima etapa metodológica: a avaliação pelo comitê de especialistas.

### **(B) Juízo de Especialistas e Evidências Baseadas no Conteúdo**

A avaliação por comitê de especialistas corresponde à análise teórica do instrumento, etapa fundamental no método de Pasquali para garantir as evidências de validade baseadas no conteúdo. O objetivo desta fase é verificar se os itens e as métricas propostas representam adequadamente o domínio do construto de presença em ambientes de telerreabilitação. Diferente da análise semântica, que foca na compreensão linguística pela população geral, esta etapa submete a estrutura do modelo ao crivo de profissionais experientes, que julgam a coerência teórica, a precisão tecnológica e a utilidade clínica dos indicadores.

### **Estratégia de Avaliação**

A estratégia metodológica baseou-se na aplicação de questionários estruturados online. Antes da aplicação final, uma avaliação preliminar conduzida por dois especialistas (áreas de IHC e jogos para saúde) identificou problemas estruturais no instrumento. O principal diagnóstico foi a alta carga cognitiva gerada pela extensão dos textos e pelo número excessivo de indicadores, que totalizavam setenta métricas. Outro ponto crítico foi o uso de uma escala de quatro pontos, que forçava o posicionamento do avaliador e

induzia a notas mais altas apenas para evitar a obrigatoriedade de redigir justificativas para pontuações baixas.

Para solucionar essas limitações, o questionário foi reestruturado com foco na objetividade. O número de métricas foi reduzido para dois ou três indicadores mais representativos por dimensão, substituindo explicações longas por descrições breves. A escala de avaliação foi alterada para cinco pontos (Likert), permitindo a neutralidade e reduzindo o viés de resposta. Para facilitar a compreensão do modelo sem sobrecarregar a leitura, foram desenvolvidos materiais audiovisuais de apoio, incluindo um vídeo de seis minutos e slides resumidos. Por fim, o instrumento foi dividido em três versões personalizadas conforme o perfil técnico ou clínico do especialista, garantindo que o profissional julgue apenas os indicadores pertinentes à sua área de competência.

### **Estrutura e Aplicação do Instrumento de Sondagem**

O questionário final, estruturado em formato digital, organiza-se em blocos progressivos de avaliação para documentar o julgamento dos especialistas. A estrutura a seguir descreve a versão aplicada ao perfil específico. A primeira seção apresenta o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). O documento detalha os objetivos da pesquisa, os riscos e benefícios associados, assegura a confidencialidade dos dados e coleta a concordância do participante. A segunda seção é dedicada ao levantamento do perfil acadêmico e profissional dos especialistas consultados. Nesta etapa, o formulário coleta informações sobre a área de formação principal e o tempo de atuação na carreira, permitindo mensurar o nível de experiência técnica específica de cada participante. Além disso, a seção verifica o histórico de envolvimento com soluções de saúde digital ou reabilitação e o grau de conhecimento teórico e prático sobre o conceito de presença virtual em sistemas imersivos.

A terceira seção foca na avaliação da estrutura geral do modelo. O especialista analisa a integração das seis dimensões propostas (espacial, social, pessoal, ambiental, envolvimento e agência). O questionário utiliza uma escala Likert de cinco pontos, variando de "Inadequado" a "Totalmente adequado". Os critérios avaliados nesta fase são:

- **Abrangência:** capacidade das seis dimensões representarem o fenômeno da presença na telerreabilitação.
- **Redundância:** independência teórica entre as dimensões, sem sobreposição de conceitos.
- **Representatividade:** contemplação integral dos aspectos essenciais da experiência, sem omissões.
- **Utilidade Clínica:** pertinência da organização dimensional para a avaliação prática.

As seções subsequentes detalham o bloco de avaliação específica por dimensão. Para cada construto, o formulário apresenta a definição teórica, os indicadores subjetivos (itens do questionário) e os indicadores objetivos (métricas específicas). O especialista deve:

- Julgar a adequação de cada métrica para fundamentar os relatos subjetivos, utilizando uma escala de cinco pontos ("Não adequado" a "Plenamente adequado").
- Descrever limitações ou a extração destas métricas e sugerir novos parâmetros.
- Justificar a necessidade de remoção ou alteração de indicadores que receberam nota igual ou inferior a três.

A seção final coleta as considerações gerais do avaliador. Por meio de questões abertas, o especialista relata sua percepção geral sobre o modelo, identifica possíveis barreiras para a implementação em protocolos de reabilitação remota e aponta lacunas estruturais, sugerindo variáveis ausentes que considera relevantes para a medição da presença virtual.

### **Discussão dos Resultados da Validação com Especialistas**

A avaliação por comitê de especialistas contou com a participação de quatro profissionais, divididos em perfis tecnológico e teórico. O grupo tecnológico foi composto por três profissionais das áreas de Sistemas de informação e Ciência da Computação. Estes juízes relataram experiência, com desenvolvimento de tecnologias imersivas, realidade virtual e sensores de rastreamento. O grupo focado no construto de presença foi representado por um especialista em Ciência da Computação com mais de dez anos de atuação em Interação Humano-Computador, telepresença e jogos para a saúde. Todos os quatro participantes afirmaram possuir familiaridade prévia com instrumentos de mensuração e ambientes virtuais. A literatura psicométrica estabelece que a qualificação técnica dos juízes é o critério principal nesta etapa da validação de conteúdo [60]. O foco desta etapa é analisar a teoria, não testar hipóteses com grandes volumes de dados. A participação de poucos especialistas experientes é suficiente para apontar erros no conceito, repetições e problemas técnicos. Esta análise qualitativa garante que o modelo esteja correto antes de ser testado na prática com pacientes.

A avaliação dos especialistas sobre a estrutura do modelo demonstra concordância quanto aos critérios de análise. A abrangência e a utilidade clínica obtiveram as pontuações mais elevadas, o que confirma que as seis dimensões representam o fenômeno da presença virtual na telerreabilitação e possuem viabilidade prática. Os índices de redundância e representatividade receberam avaliações consistentes, apesar das observações sobre intersecções teóricas e lacunas conceituais identificadas. O grupo de juízes

confirmou que a organização proposta contempla os elementos essenciais da experiência imersiva, validando a estrutura do instrumento para o uso em sessões terapêuticas.

A avaliação conduzida pelo perfil tecnológico concentrou-se na infraestrutura e na pertinência das métricas objetivas do modelo. Nas dimensões espacial e ambiental, os indicadores de Campo de Visão (FOV) e Taxa de Quadros (Frame Rate) foram validados como fundamentais para a ilusão de lugar, com a proposição de incorporar o elipsoide de confiança de 95% para a medição da estabilidade postural. Na dimensão de agência, o Comprimento do Arco Espectral (SPARC) e o Erro Quadrático Médio (RMSE) foram aceitos para diferenciar movimentos voluntários de ajustes compensatórios do sistema. Para garantir esta intenção motora, os avaliadores definiram a latência *motion-to-photon* inferior a 20 milissegundos como requisito técnico. Nas dimensões pessoal e social, os profissionais apontaram a dificuldade de isolar respostas reflexas por meio de sensores, mas validaram o cálculo de correlação cruzada para medir a sincronia motora entre os avatares. O construto de envolvimento foi fundamentado pelo tempo de permanência na tarefa (*Time on Task*) e pela coerência da frequência cardíaca. Os especialistas concluíram que a abordagem multimodal, integrando autorrelato e métricas biocomportamentais, mitiga o viés de memória do paciente e isola falhas de hardware, como quedas de quadros ou oclusão de sensores, da avaliação da experiência imersiva. A recomendação estrutural resultante desta análise consiste em processar as métricas como variáveis contínuas, o que permite ao sistema reconhecer os padrões individuais de cada paciente ao longo das sessões.

A avaliação conduzida pelo especialista no construto de presença validou a abrangência e a utilidade clínica do modelo com pontuação de 5,0. Os critérios de redundância e representatividade receberam nota 4,0, indicando a existência de intersecções teóricas e de uma lacuna conceitual. Na dimensão espacial, o juiz sugeriu a inclusão de indicadores de reação a eventos virtuais, sob o argumento de que respostas automáticas evidenciam a ilusão de lugar de forma mais objetiva que o relato verbal. Na dimensão ambiental, a análise apontou que o item 13 mensurava a adequação do cenário para a realização de exercícios em vez da percepção de presença no espaço. Esta observação fundamenta a necessidade de separar a usabilidade clínica da percepção de imersão. O especialista identificou a ausência da variável temporal no modelo, pontuando que a distorção na percepção do tempo constitui um marcador de fluxo na telerreabilitação. Sobre o construto de agência, houve concordância quanto à função da agência motora como elo entre o ambiente físico e o virtual, com o apontamento de que a medição de interação social exige métodos que previnam a ausência de memória interativa. A análise conclui que o modelo possui consistência teórica, definindo a incorporação da variável temporal e o refinamento da dimensão ambiental como os ajustes necessários para a validação do instrumento.

A análise comparativa entre as avaliações evidencia convergências estruturais e diferenças de escopo analítico. Ambos os perfis validaram a organização multidimensional do instrumento e concordaram quanto à necessidade de integrar métricas biocomportamentais aos questionários de autorrelato para contornar o viés de memória do paciente. Ocorre consenso de que a agência motora constitui um elemento central da experiência imersiva, justificando a correlação entre a resposta do sistema e as reações físicas do usuário. A distinção entre as avaliações reside no foco metodológico. O comitê tecnológico priorizou a capacidade da infraestrutura em sustentar a ilusão de lugar por meio de parâmetros de hardware, como latência e taxa de quadros. O avaliador teórico concentrou-se na integridade do construto psicológico, apontando a ausência da variável temporal e alertando para o risco de confundir a funcionalidade clínica do cenário com a percepção subjetiva de pertencimento ambiental. A articulação destas perspectivas complementares fundamenta os ajustes do modelo e alinha as exigências psicométricas às capacidades tecnológicas do sistema.

As percepções finais indicam que as modificações no modelo devem focar na correção dos construtos teóricos para evitar a sobrecarga do questionário. A intervenção primária consiste na reestruturação semântica do item 13 da dimensão ambiental, garantindo que o enunciado avalie a ilusão de lugar e não a funcionalidade clínica do cenário. A segunda alteração compreende a formalização da variável temporal por meio da inclusão de uma pergunta pontual sobre a percepção da passagem do tempo, associada à métrica objetiva de tempo de tarefa validada pelo comitê técnico. Em contrapartida, a sugestão de adicionar itens subjetivos para avaliar reações físicas a eventos virtuais não foi incorporada ao autorrelato. O registro dessas respostas automáticas já ocorre por meio da coleta de dados biocomportamentais dos sensores, e a inserção de novas perguntas elevaria a carga cognitiva e o viés de memória do paciente. A adequação do instrumento consolida o alinhamento entre as exigências teóricas e os dados de hardware, mantendo o formulário textual restrito às percepções não rastreáveis pelos equipamentos.

### 5.3 Síntese

Este capítulo detalhou a fundamentação e a execução metodológica da validação do modelo proposto. A escolha da psicometria justificou-se pela necessidade de transformar o construto abstrato de presença virtual em dados objetivos e mensuráveis, essenciais para a telerreabilitação. A adoção dos polos teóricos de Pasquali e das diretrizes dos *Standards* permitiu estruturar um instrumento multimodal, aliando autorrelato e biometria, de forma a garantir que a medida final reflita o traço latente pretendido.

O processo de construção iniciou-se com a delimitação do fenômeno em seis dimensões independentes (espacial, social, pessoal, ambiental, envolvimento e agência).

Essa organização garantiu a cobertura integral da experiência imersiva, evitando abordagens unidimensionais reducionistas. As definições constitutivas e operacionais traduziram as percepções subjetivas em parâmetros rastreáveis pelo sistema, conectando as sensações de localização, controle e conexão a métricas objetivas .

A fase de operacionalização estruturou um conjunto inicial de 21 perguntas adaptadas da literatura. A aplicação rigorosa dos critérios de Pasquali (comportamento, objetividade, simplicidade, clareza, relevância, precisão, variedade e modalidade) orientou o refinamento linguístico e estrutural. As questões foram reformuladas para eliminar jargões técnicos, ambiguidades e advérbios de intensidade, transferindo a exigência de gradação para a escala de resposta, o que reduziu o esforço cognitivo do respondente.

A avaliação da compreensão foi realizada por meio da validação semântica, etapa em que a população leiga avaliou a clareza e interpretou os construtos a partir de um cenário descritivo de ancoragem. Os resultados confirmaram a eficácia das reformulações. Constatou-se que a dificuldade em responder não provinha do vocabulário, mas da exigência temporal de abstração, confirmando a necessidade de aplicar o questionário final imediatamente após a interação física e de apoiar a avaliação em dados objetivos gerados pelo próprio sistema virtual.

A validade de conteúdo foi assegurada pela submissão do modelo à análise do comitê de especialistas. Profissionais de tecnologia confirmaram a viabilidade da infraestrutura de hardware e o alinhamento das métricas com a expectativa motora e fisiológica. A análise conceitual, conduzida pelo perito em presença, referendou a estrutura geral, mas demandou a reestruturação do Item 13, que avaliava utilidade em vez de imersão ambiental, além da inclusão da variável de distorção temporal no eixo de envolvimento.

As evidências reunidas atestam que o modelo atinge seu propósito. Ao convergir a precisão dos sensores de rastreamento com a experiência narrada pelo paciente, o instrumento mitiga o viés de memória, supera as limitações de avaliações puramente subjetivas e se consolida como uma ferramenta robusta e estruturalmente válida para o cenário da saúde digital.

## Conclusão

---

O presente estudo desenvolveu e estruturou um modelo multidimensional para a mensuração da presença virtual em sistemas de telerreabilitação baseados em exergames imersivos. A pesquisa utilizou os procedimentos teóricos da psicometria para converter o traço latente da presença em dados observáveis. A dimensionalidade do modelo foi definida em seis eixos operacionais: espacial, social, pessoal, ambiental, envolvimento e agência. A arquitetura proposta articula indicadores de autorrelato com métricas biocomportamentais e tecnológicas, estabelecendo uma correspondência direta entre a percepção do paciente e os registros dos sensores.

O processo de validação de conteúdo atestou a adequação teórica do instrumento. A análise semântica realizada com a amostra populacional confirmou a clareza do vocabulário e evidenciou a necessidade de aplicar os questionários imediatamente após o uso da tecnologia para mitigar a carga cognitiva e a exigência de abstração. A avaliação conduzida pelo comitê multidisciplinar de especialistas validou a infraestrutura técnica e a consistência dos construtos. Os ajustes resultantes desta etapa compreenderam a formalização da variável temporal e a reestruturação de enunciados para isolar a percepção de imersão da adequação funcional do ambiente clínico.

A principal contribuição desta pesquisa reside na mitigação da subjetividade na avaliação de ambientes virtuais voltados para a saúde. A integração de dados textuais com variáveis contínuas de hardware, como cinemática motora, latência e estabilidade postural, permite diferenciar limitações clínicas do paciente de falhas estruturais do sistema. A operacionalização deste fenômeno psicológico fornece um padrão metodológico para que desenvolvedores e profissionais de saúde ajustem protocolos terapêuticos com base em evidências objetivas advindas da interação humano-computador.

O escopo metodológico deste trabalho limitou-se ao polo teórico da elaboração de instrumentos. A ausência de coleta empírica de dados com pacientes inseridos em protocolos reais de fisioterapia constitui a limitação desta fase estrutural. Os trabalhos futuros concentram-se na execução dos polos empírico e analítico previstos na literatura psicométrica. As próximas etapas demandam a aplicação clínica do instrumento para a extração de parâmetros estatísticos. Este procedimento viabilizará a análise fatorial

da estrutura interna do questionário e a validação preditiva das métricas de sistema, consolidando o modelo como uma ferramenta válida para o monitoramento contínuo e a personalização de terapias imersivas remotas.

---

## Referências Bibliográficas

---

- [1] **Standards for educational and psychological testing.** American Educational Research Association.
- [2] ABAYASIRI, R. A. M.; PADILHA LANARI BO, A.; DICK, T. J. M.; BAGHAEI, N. **Influence of virtual reality illusions on balance performance and immersive user experience in young adults: A within-subject experimental study.** *JMIR Serious Games*, 13, 2025.
- [3] AFYOUNI, I.; MURAD, A.; EINEA, A. **Adaptive rehabilitation bots in serious games.** *Sensors*, 20(24), 2020.
- [4] AGNIHOTRI, S.; GUPTA, N.; SINDWANI, P.; SRIVASTAVA, A.; AHMAD, A.; KARKI, M. **Telerehabilitation: Exploring the untapped potential.** *Cureus*, 2024.
- [5] AGOSTINI, M.; MOJA, L.; BANZI, R.; PISTOTTI, V.; TONIN, P.; VENNERI, A.; TUROLLA, A. **Telerehabilitation and recovery of motor function: a systematic review and meta-analysis.** *Journal of Telemedicine and Telecare*, 21(4), 2015.
- [6] ALLEGUE, D. R.; HIGGINS, J.; SWEET, S. N.; ARCHAMBAULT, P. S.; MICHAUD, F.; MILLER, W.; TOUSIGNANT, M.; KAIRY, D. **Rehabilitation of upper extremity by telerehabilitation combined with exergames in survivors of chronic stroke: preliminary findings from a feasibility clinical trial.** *JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies*, 2022.
- [7] AMATYA, B.; GALEA, M.; KESSELRING, J.; KHAN, F. **Effectiveness of telerehabilitation interventions in persons with multiple sclerosis: A systematic review.** *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, 4(4), 2015.
- [8] AMIRI, Z.; SEKHAVAT, Y. A.; GOLJARYAN, S.; ROOHI, S. **Keepstep: Accommodating user diversity through individualized, projection-mapping based exergames for rehabilitation in people with multiple sclerosis.** *Multimedia Tools And Applications*, 2022.

- [9] ASSENZA, C.; CATANIA, H.; ANTENORE, C.; GOBBETTI, T.; GENTILI, P.; PAOLUCCI, S.; MORELLI, D. **Continuity of care during covid-19 lockdown: A survey on stakeholders' experience with telerehabilitation.** *Frontiers in Neurology*, 11, 2021.
- [10] BARAK VENTURA, R.; STEWART HUGHES, K.; NOV, O.; RAGHAVAN, P.; RUIZ MARÍN, M.; PORFIRI, M. **Data-driven classification of human movements in virtual reality-based serious games: Preclinical rehabilitation study in citizen science.** *JMIR serious games*, 2022.
- [11] BARANOWSKI, T. **Exergaming: Hope for future physical activity? or blight on mankind?** *Journal of Sport and Health Science*, 6(1), 2017.
- [12] BAREIŠYTĖ, L.; SLATMAN, S.; AUSTIN, J.; ROSEMA, M.; VAN SINTEMAARTENSDIJK, I.; WATSON, S.; BODE, C. **Questionnaires for evaluating virtual reality: A systematic scoping review.** *Computers in Human Behavior Reports*, 16, 2024.
- [13] BARON, L.; CHHEANG, V.; CHAUDHARI, A.; LIAQAT, A.; CHANDRASEKARAN, A.; WANG, Y.; CASHABACK, J.; THOSTENSON, E.; BARMAKI, R. L. **Virtual therapy exergame for upper extremity rehabilitation using smart wearable sensors.** In: *2023 IEEE/ACM Conference on Connected Health: Applications, Systems and Engineering Technologies (CHASE)*, 2023.
- [14] BARRY, M.; DOHERTY, G. **How we talk about interactivity: Modes and meanings in hci research.** *Interacting with Computers*, 29(5), 2017.
- [15] BELOTTI, N.; BONFANTI, S.; LOCATELLI, A.; ROTA, L.; GHIDOTTI, A.; VITALI, A. **A tele-rehabilitation platform for shoulder motor function recovery using serious games and an azure kinect device.** *Studies in health technology and informatics*, 2022.
- [16] BEST, J. R. **Exergaming in youth: Effects on physical and cognitive health.** *Zeitschrift für Psychologie*, 2013.
- [17] BIOCCA, F. **The cyborg's dilemma: embodiment in virtual environments.** In: *Proceedings Second International Conference on Cognitive Technology Humanizing the Information Age*, Aizu-Wakamatsu City, Japan, 1997. IEEE Comput. Soc.
- [18] BORDIN, E. S. **The generalizability of the psychoanalytic concept of the working alliance.** *Psychotherapy: Theory, research & practice*, 16(3), 1979.
- [19] BORN, F.; ABRAMOWSKI, S.; MASUCH, M. **Exergaming in vr: The impact of immersive embodiment on motivation, performance, and perceived exertion.**

- In: *2019 11th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications (VS-Games)*, Vienna, Austria, 2019. Ieee.
- [20] BRENNAN, D.; TINDALL, L.; THEODOROS, D.; BROWN, J.; CAMPBELL, M.; CHRISTIANA, D.; SMITH, D.; CASON, J.; LEE, A. **A blueprint for telerehabilitation guidelines.** *International Journal of Telerehabilitation*, 2010.
- [21] BRUBACH, L.; WESTERMEIER, F.; WIENRICH, C.; LATOSCHIK, M. E. **Breaking plausibility without breaking presence - evidence for the multi-layer nature of plausibility.** *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 28(5), 2022.
- [22] BURDEA, G.; KIM, N.; POLISTICO, K.; KADARU, A.; ROLL, D.; GRAMPUROHIT, N. **Novel integrative rehabilitation system for the upper extremity: Design and usability evaluation.** *Journal Of Rehabilitation And Assistive Technologies Engineering*, 2021.
- [23] BUSSE, A.; FLEURY, S.; KADRI, A.; HAJ MAHMOUD, O.; RICHIR, S. **Scoping review on the interactive digital tools used for the physical and cognitive stimulation of healthy older adults.** *Human Behavior and Emerging Technologies*, 2024(1), 2024.
- [24] BÉKÉS, V.; AAFJES-VAN DOORN, K.; LUO, X.; BALARAJAN, S.; HOPWOOD, C. J. **Mastery of teletherapy is related to better therapeutic relationship and presence in teletherapy: the development of the teletherapy intervention scale.** *Frontiers in Psychology*, 14, 2023.
- [25] CALDEIRA, C.; COSTA FIGUEIREDO, M.; DODAKIAN, L.; DE SOUZA, C. R. B.; CRAMER, S. C.; CHEN, Y. **Towards supporting data-driven practices in stroke telerehabilitation technology.** *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 5(Cscw1), 2021.
- [26] CHAN, G.; BANIRE, B.; ANUKEM, S.; IMRAN, M.; MEENA, S.; NWAGU, C.; OYEBODE, O.; ALSLAITY, A.; ARYA, A.; ORJI, R. **Social exergames in health and wellness: A systematic review of trends, effectiveness, challenges, and directions for future research.** *International Journal of Human-Computer Interaction*, 41(10), 2024.
- [27] CHAN, Y. K.; TANG, Y. M.; TENG, L. **A comparative analysis of digital health usage intentions towards the adoption of virtual reality in telerehabilitation.** *International Journal of Medical Informatics*, 174, 2023.

- [28] CHARISSIS, V.; KHAN, S.; ALTARTEER, S.; LAGOO, R. **Virtual rehabilitation: Xr design for senior users in immersive exergame environments.** In: *2024 IEEE Gaming, Entertainment, and Media Conference (GEM)*, 2024.
- [29] CHEN, C. C.; HU, X.; FISHER, J. **What is 'being there'? an ontology of the immersive experience.** *Annals of the International Communication Association*, 48(4), 2024.
- [30] CHEN, X.; WU, L.; FENG, H.; NING, H.; WU, S.; HU, M.; JIANG, D.; CHEN, Y.; JIANG, Y.; LIU, X. **Comparison of exergames versus conventional exercises on the health benefits of older adults: Systematic review with meta-analysis of randomized controlled trials.** *JMIR Serious Games*, 11, 2023.
- [31] CIKAJLO, I.; RUDOLF, M.; MAINETTI, R.; BORGHESE, N. A. **Multi-exergames to set targets and supplement the intensified conventional balance training in patients with stroke: A randomized pilot trial.** *Frontiers in Psychology*, 2020.
- [32] CRONBACH, L. J.; MEEHL, P. E. **Construct validity in psychological tests.** *Psychological bulletin*, 52(4), 1955.
- [33] DEFI, I. R. **Rehabilitation role in sport injury.** *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 11(2<sub>suppl</sub>), 2023.
- [34] DORSEY, E. R.; TOPOL, E. J. **Telemedicine 2020 and the next decade.** *The Lancet*, 395(10227), 2020.
- [35] DULAU, E.; BOTHA-RAVYSE, C. R.; LUIMULA, M. **Virtual reality for physical rehabilitation: A pilot study how will virtual reality change physical therapy?** In: *2019 10th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)*, Naples, Italy, 2019. Ieee.
- [36] EGGER, J.; GSAXNER, C.; KLEESIEK, J.; PULADI, B. **What is diminished virtuality? a directional and layer-based taxonomy for the reality-virtuality continuum.** *JMIR XR and Spatial Computing*, 1, 2024.
- [37] FELIZARDO, K. R.; DE SOUZA, E. F.; FALBO, R. A.; VIJAYKUMAR, N. L.; MENDES, E.; NAKAGAWA, E. Y. **Defining protocols of systematic literature reviews in software engineering: A survey.** In: *2017 43rd Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA)*. Ieee, 2017.
- [38] FELTON, W. M. **(fpq - felton) presence in virtual environments: Visual factors and measure convergence**, 2021. Pinned\_Collections: R94WKPSQ.

- [39] FELTON, W. M.; JACKSON, R. E. **Presence: A review.** *International Journal of Human-Computer Interaction*, 38(1), 2022.
- [40] FERNANDES, C. S.; MAGALHÃES, B.; LIMA, A.; NÓBREGA, P.; SILVA, M.; SANTOS, C. **Impact of exergames on the mental health of older adults: A systematic review and grade evidence synthesis.** *Games for Health Journal*, 11(6), 2022.
- [41] FERNANDES, L. G.; OLIVEIRA, R. F.; BARROS, P. M.; FAGUNDES, F. R.; SOARES, R. J.; SARAGIOTTO, B. T. **Physical therapists and public perceptions of telerehabilitation: An online open survey on acceptability, preferences, and needs.** *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 26(6), 2022.
- [42] FIJAČKO, N.; ŠTIGLIC, G.; GSAXNER, C.; CHANG, T. P.; GREIF, R. **Rethinking realities: A call for accurate terminology in extended reality studies.** *Resuscitation Plus*, 17, 2024.
- [43] FREGNA, G.; PAOLUZZI, C.; BARONI, A.; CANO-DE-LA CUERDA, R.; CASILE, A.; STRAUDI, S. **Head-mounted displays for upper limb stroke rehabilitation: A scoping review.** *Journal of Clinical Medicine*, 12(23), 2023.
- [44] FRESENKO, L. E.; RUTHERFURD, C.; ROBINSON, L. E.; ROBINSON, C. M.; MONTGOMERY-YATES, A. A.; HOGG-GRAHAM, R.; MORRIS, P. E.; EATON, T. L.; MCPENAKE, J. M.; MAYER, K. P. **Rehabilitation and social determinants of health in critical illness recovery literature: A systematic review.** *Critical Care Explorations*, 6(12), 2024.
- [45] GAO, Y.; WEI, X.; CHEN, J.; ZHOU, L. **Toward immersive experience: Evaluation for interactive network services.** *IEEE Network*, 36(1), 2022.
- [46] GMEZ-PORTES, C.; CARNEROS-PRADO, D.; ALBUSAC, J.; CASTRO-SCHEZ, J. J.; GLEZ-MORCILLO, C.; VALLEJO, D. **Phyre up! a system based on mixed reality and gamification to provide home rehabilitation for stroke patients.** *IEEE Access*, 2021.
- [47] GOFFREDO, M.; PAGLIARI, C.; TUROLLA, A.; TASSORELLI, C.; TELLA, S. D.; FEDERICO, S.; POURNAJAF, S.; JONSDOTTIR, J.; ICCO, R. D.; PELLICCIARI, L.; CALABRÓ, R.; BAGLIO, F.; FRANCESCHINI, M. **Non-immersive virtual reality telerehabilitation system improves postural balance in people with chronic neurological diseases.** *Journal of Clinical Medicine*, 12, 2023.
- [48] GÓMEZ-PORTES, C.; VALLEJO, D.; CORREGIDOR-SÁNCHEZ, A.-I.; RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, M.; MARTÍN-CONTY, J. L.; SCHEZ-SOBRINO, S.; POLONIO-LÓPEZ, B. **A platform based on personalized exergames and natural user interfaces to promote remote physical activity and improve healthy aging in elderly people.** *Sustainability*, 2021.

- [49] GONZÁLEZ-ERENA, P. V.; FERNÁNDEZ-GUINEA, S.; KOURTESIS, P. **Cognitive assessment and training in extended reality: Multimodal systems, clinical utility, and current challenges.** *Encyclopedia*, 5(1), 2025.
- [50] GRASSINI, S.; LAUMANN, K. **Questionnaire measures and physiological correlates of presence: A systematic review.** *Frontiers in Psychology*, 11, 2020.
- [51] GUGGENBERGER, B.; JOCHAM, A. J.; JOCHAM, B.; NISCHELWITZER, A.; RITSCHL, H. **Instrumental validity of the motion detection accuracy of a smartphone-based training game.** *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 2021.
- [52] GUTIERREZ, A.; FARELLA, N.; GIL-AGUDO, A.; DE LOS REYES GUZMAN, A. **Virtual reality environment with haptic feedback thimble for post spinal cord injury upper-limb rehabilitation.** *Applied Sciences-basel*, 2021.
- [53] GUTIÉRREZ, M.; LEMOINE, P.; THALMANN, D.; VEXO, F. **Telerehabilitation: controlling haptic virtual environments through handheld interfaces.** In: *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, Hong Kong, 2004. Acm. tex.eventtitle: VRST04: The ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology 2004.
- [54] HAJESMAEEL-GOHARI, S.; BAHAAADINBEIGY, K. **The most used questionnaires for evaluating telemedicine services.** *BMC medical informatics and decision making*, 21(1), 2021.
- [55] HAO, J.; LI, Y.; REMIS, A.; HE, Z.; YAO, Z.; PU, Y. **Performance-based outcome measures of upper extremity in virtual reality and telerehabilitation: a systematic review.** *Neurological sciences : official journal of the Italian Neurological Society and of the Italian Society of Clinical Neurophysiology*, 2023.
- [56] HARTMANN, T.; WIRTH, W.; SCHRAMM, H.; KLIMMT, C.; VORDERER, P.; GYSBERS, A.; BÖCKING, S.; RAVAJA, N.; LAARNI, J.; SAARI, T.; GOUVEIA, F.; MARIA SACAU, A. **(spes) the spatial presence experience scale (spes): A short self-report measure for diverse media settings.** *Journal of Media Psychology*, 28(1), 2016.
- [57] HE, W.; LI, X.; COLLEY, M.; KRISTENSSON, P. O.; KAN, G. L.; LIANG, H.-N. **An exploration of collaboration strategies across levels of co-presence in vr exergames,** 2025.
- [58] HEETER, C. **Being there: The subjective experience of presence.** *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1(2), 1992.

- [59] HILTY, D. M.; RANDHAWA, K.; MAHEU, M. M.; MCKEAN, A. J. S.; PANTERA, R.; MISHKIND, M. C.; RIZZO, A. **A review of telepresence, virtual reality, and augmented reality applied to clinical care.** *Journal of Technology in Behavioral Science*, 5(2), 2020. Pinned\_Collections: R94WKPSQ.
- [60] HUTZ, C. S. **O que e avaliação psicológica - métodos, técnicas e testes.**
- [61] IJSSELSTEIJN, W. A. **History of Telepresence**, chapter 1. John Wiley Sons, Ltd, 2005.
- [62] JASWAL, S.; LO, J.; SITHAMPARANATHAN, G.; NOWROUZI-KIA, B. **The era of technology in healthcare: an evaluation of telerehabilitation on patient outcomes—a systematic review and meta-analysis protocol.** *Systematic Reviews*, 12(1), 2023.
- [63] JENNETT, C.; COX, A. L.; CAIRNS, P.; DHOPAREE, S.; EPPS, A.; TIJS, T.; WALTON, A. **(ieq) measuring and defining the experience of immersion in games.** *International Journal of Human-Computer Studies*, 66(9), 2008.
- [64] JOHANSSON, T.; WILD, C. **Telerehabilitation in stroke care – a systematic review.** *Journal of Telemedicine and Telecare*, 17(1), 2011.
- [65] JORJAFKI, E. M.; SAGARIN, B. J.; BUTAIL, S. **Drawing power of virtual crowds.** *Journal of The Royal Society Interface*, 15(145), 2018.
- [66] KARAOSMANOGLU, S.; CMENTOWSKI, S.; NACKE, L. E.; STEINICKE, F. **Born to run, programmed to play: Mapping the extended reality exergames landscape.** In: *Proceedings of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Honolulu HI USA, 2024. Acm. tex.eventtitle: CHI '24: CHI Conference on Human Factors in Computing Systems.
- [67] KIM, T.; BIOCICA, F. **Telepresence via television: Two dimensions of telepresence may have different connections to memory and persuasion.[1].** *Journal of Computer-Mediated Communication*, 3(2), 1997.
- [68] KIRA, A.; PONTES, R. G.; ARAÚJO, L. V.; MONTEIRO, C. B. M.; URIBE-QUEVEDO, A.; NUNES, F. L. S. **An approach for automatic adaptation of serious games applied to virtual motor rehabilitation.** In: *2024 IEEE 12th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*, 2024.
- [69] KLEIN, M. J.; SIMMERS, C. S. **Exergaming: virtual inspiration, real perspiration.** *Young Consumers*, 10(1), 2009.

- [70] KOJIC, T.; SCHMIDT, S.; MOLLER, S.; VOIGT-ANTONS, J.-N. **Influence of network delay in virtual reality multiplayer exergames: Who is actually delayed?** In: *2019 Eleventh International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)*, Berlin, Germany, 2019. Ieee. Pinned\_Collections: R94WKPSQ.
- [71] KOURTESIS, P. **A comprehensive review of multimodal xr applications, risks, and ethical challenges in the metaverse.** *Multimodal Technologies and Interaction*, 8(11), 2024.
- [72] KOURTESIS, P. **The extended mind & body in extended realities: A scoping review of xr applications and risks in the metaverse.** 2024.
- [73] KRZYZANIAK, N.; CARDONA, M.; PEIRIS, R.; MICHALEFF, Z. A.; GREENWOOD, H.; CLARK, J.; SCOTT, A. M.; GLASZIOU, P. **Telerehabilitation versus face-to-face rehabilitation in the management of musculoskeletal conditions: a systematic review and meta-analysis.** *Physical Therapy Reviews*, 28(2), 2023.
- [74] LANGE, B.; FLYNN, S. M.; RIZZO, A. **Game-based telerehabilitation.** *Eur J Phys Rehabil Med*, 2009.
- [75] LEAL, J. C.; BELO, V. S.; SANTOS, I. M.; FERREIRA, R. V.; DE MELO, S. N.; DA SILVA, E. S. **Exergames in older adult community centers and nursing homes to improve balance and minimize the risk of falls in older adults: A systematic review and meta-analysis.** *Healthcare*, 11(13), 2023.
- [76] LEE, A. C.; DEUTSCH, J. E.; HOLDSWORTH, L.; KAPLAN, S. L.; KOSAKOWSKI, H.; LATZ, R.; MCNEARY, L. L.; O'NEIL, J.; RONZIO, O.; SANDERS, K.; SIGMUND-GAINES, M.; WILEY, M.; RUSSELL, T. **Telerehabilitation in physical therapist practice: A clinical practice guideline from the american physical therapy association.** *Physical Therapy*, 104, 2024.
- [77] LEE, K. M. **Presence, explicated.** *Communication Theory*, 14(1), 2004.
- [78] LEE, L.-W.; WANG, S.-T.; LI, I.-H. **An iot-enabled omnidirectional mobile system for home-based rehabilitation of upper and lower limbs.** *Internet Of Things*, 2025.
- [79] LESSITER, J.; FREEMAN, J.; KEOGH, E.; DAVIDOFF, J. **(itc-sopi) a cross-media presence questionnaire: The itc-sense of presence inventory.** *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 10(3), 2001.
- [80] LI, B. J.; LWIN, M. O. **Player see, player do: Testing an exergame motivation model based on the influence of the self avatar.** *Computers in Human Behavior*, 59, 2016.

- [81] LI, K.; WANG, Y.; WU, Z.; YAO, X.; FAN, Y. **Effectiveness of active exergames for improving cognitive function in patients with neurological disabilities: A systematic review and meta-analysis.** *Games for Health Journal*, 12(3), 2023.
- [82] LIU, Z.; XU, H.; TU, M.; TIAN, F. **The impact of physical props and physics-associated visual feedback on vr archery performance.** *Sensors*, 25(22), 2025.
- [83] LOMBARD, M.; DITTON, T. **At the heart of it all: The concept of presence.** *Journal of Computer-Mediated Communication*, 3(2), 1997.
- [84] LUO, Z.; LIM, T. Y. **Development of a data-driven self-adaptive upper limb virtual rehabilitation system for post stroke elderly.** In: *2023 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, 2023.
- [85] MACALUSO, R.; VISCONTI, A.; CALANDRA, D.; CIARDO, R.; BARRESI, G.; LAMBERTI, F. **Evaluating therapist representation techniques in mixed reality-based tele-rehabilitation exergames.** In: *2024 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, 2024.
- [86] MAKRANSKY, G.; LILLEHOLT, L.; AABY, A. **Development and validation of the multimodal presence scale for virtual reality environments: A confirmatory factor analysis and item response theory approach.** *Comput. Hum. Behav.*, 72, 2017.
- [87] MARSHALL, J.; LINEHAN, C. **Are exergames exercise? a scoping review of the short-term effects of exertion games.** *IEEE Transactions on Games*, 13(2), 2021.
- [88] MASELLI, A.; SLATER, M. **Sliding perspectives: dissociating ownership from self-location during full body illusions in virtual reality.** *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 2014.
- [89] MATAMALA-GOMEZ, M.; DONEGAN, T.; BOTTIROLI, S.; SANDRINI, G.; SANCHEZ-VIVES, M. V.; TASSORELLI, C. **Immersive virtual reality and virtual embodiment for pain relief.** *Frontiers in Human Neuroscience*, 13, 2019.
- [90] MATAMALA-GOMEZ, M.; MAISTO, M.; MONTANA, J.; MAVRODIEV, P. A.; BAGLIO, F.; ROSSETTO, F.; MANTOVANI, F.; RIVA, G.; REALDON, O. **The role of engagement in teleneurorehabilitation: A systematic review.** *Frontiers in Neurology*, 11, 2020.
- [91] MATAMALA-GOMEZ, M.; SLATER, M.; SANCHEZ-VIVES, M. V. **Impact of virtual embodiment and exercises on functional ability and range of motion in orthopedic rehabilitation.** *Scientific Reports*, 12(1), 2022.

- [92] MEISZL, K.; RATERT, F.; SCHULTEN, T.; WISWEDE, D.; DE CANAVIRI, L. K.; POTTHAST, T.; SILBERBACH, M.; HAKE, L.; WARNECKE, Y.; SCHIPROWSKI, W.; MERSCHHEMKE, M.; FRIEDRICH, C. M.; BRUENGEL, R. **Conventional training integrated with steamvr tracking 2.0: Body stability and coordination training evaluation on icaros pro.** *Sensors*, 2025.
- [93] MERINO, R.; HIGUERA-TRUJILLO, J. L.; LLINARES, C. **The use of sense of presence in studies on human behavior in virtual environments: A systematic review.** *Applied sciences*, 2023.
- [94] MESSICK, S. **The psychology of educational measurement.** *ETS Research Report Series*, 1984(1), 1984.
- [95] MESSICK, S. **The once and future issues of validity: Assessing the meaning and consequences of measurement 1.** *ETS Research Report Series*, 1986(2), 1986.
- [96] MILOFF, A.; CARLBRING, P.; HAMILTON, W.; ANDERSSON, G.; REUTERSKIÖLD, L.; LINDNER, P. **Measuring alliance toward embodied virtual therapists in the era of automated treatments with the virtual therapist alliance scale (vtas): Development and psychometric evaluation.** *Journal of Medical Internet Research*, 22(3), 2020. Pinned\_Collections: SHMH3X2W.
- [97] MINSKY, M. **Telepresence.** 1980.
- [98] MONTOYA, M. F.; MUNOZ, J. E.; HENAO, O. A. **Enhancing virtual rehabilitation in upper limbs with biocybernetic adaptation: The effects of virtual reality on perceived muscle fatigue, game performance and user experience.** *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 2020.
- [99] MORSE, H.; BIGGART, L.; POMEROY, V.; ROSSIT, S. **Exploring perspectives from stroke survivors, carers and clinicians on virtual reality as a precursor to using telerehabilitation for spatial neglect post-stroke.** *Neuropsychological Rehabilitation*, 32, 2020.
- [100] MORSE, H.; BIGGART, L.; POMEROY, V.; ROSSIT, S. **Virtual reality telerehabilitation for spatial neglect post-stroke: perspectives from stroke survivors, carers and clinicians.** *medRxiv*, 2020.
- [101] MUNCE, S. **The importance of telerehabilitation and future directions for the field.** *JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies*, 12, 2025.

- [102] MUÑOZ-TOMÁS, M. T.; BURILLO-LAFUENTE, M.; VICENTE-PARRA, A.; SANZ-RUBIO, M. C.; SUAREZ-SERRANO, C.; MARCÉN-ROMÁN, Y.; FRANCO-SIERRA, M. **Telerehabilitation as a therapeutic exercise tool versus face-to-face physiotherapy: A systematic review.** *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 2023.
- [103] NAQVI, W. M.; NAQVI, I.; MISHRA, G. V.; VARDHAN, V. **The future of telerehabilitation: embracing virtual reality and augmented reality innovations.** *The Pan African Medical Journal*, 47, 2024.
- [104] ÖCAL, T.; BAYKARA, M.; UZUN, I. **The use of exergame in a multiplayer-supported virtual clinic.** In: *2024 8th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)*, 2024.
- [105] OH, C. S.; BAILENSON, J. N.; WELCH, G. F. **A systematic review of social presence: Definition, antecedents, and implications.** *Frontiers in Robotics and AI*, 5, 2018.
- [106] OH, Y.; YANG, S. **Defining exergames & exergaming.** In: *Meaningful Play*, 2010.
- [107] OLOWOYO, P.; DHAMIJA, R.; OWOLABI, M. **Telerehabilitation – historical perspectives and conceptual framework in reference to neurological disorders: A narrative review.** *NeuroRehabilitation*, 56, 2024.
- [108] PARDALIS, A. A.; GATSIOS, D.; TSAKANIKAS, V. D.; WALZ, I.; MAURER, C.; KIKIDIS, D.; NIKITAS, C.; PAPADOPOULOU, S.; BIBAS, A.; FOTIADIS, D. I. **Exploring the acceptability and feasibility of providing a balance tele-rehabilitation programme to older adults at risk for falls: An initial assessment.** In: *2021 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)*, 2021.
- [109] PARMANTO, B.; LEWIS, JR., A. N.; GRAHAM, K. M.; BERTOLET, M. H. **Development of the telehealth usability questionnaire.** *International Journal of Telerehabilitation*, 8(1), 2016. Pinned\_Collections: SHMH3X2W.
- [110] PAROLA, M.; JOHNSON, S.; WEST, R. **Turning presence inside-out: Metanarratives.** *Electronic Imaging*, 28(4), 2016.
- [111] PASQUALI, L. **Princípios de elaboração de escalas psicológicas.**
- [112] PASQUALI, L. **Psicometria-Teoria Dos Testes Na Psicologia E Na Educacao.** Editora Vozes.
- [113] PERETTI, A.; AMENTA, F.; TAYEBATI, S. K.; NITTARI, G.; MAHDI, S. S. **Telerehabilitation: Review of the state-of-the-art and areas of application.** *JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies*, 2017.

- [114] PIANZOLA, F.; RIVA, G.; KUKKONEN, K.; MANTOVANI, F. **Presence, flow, and narrative absorption: an interdisciplinary theoretical exploration with a new spatiotemporal integrated model based on predictive processing.** *Open Research Europe*, 1, 2021.
- [115] PODKOSOVA, I.; KAUFMANN, H. **Co-presence and proxemics in shared walkable virtual environments with mixed colocation.** *Proceedings of the 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, 2018.
- [116] POPESCU, V. G.; BURDEA, G. C.; BOUZIT, M.; HENTZ, V. R. **A virtual-reality-based telerehabilitation system with force feedback.** *IEEE transactions on Information Technology in Biomedicine*, 2000.
- [117] PRAMUKA, M.; VAN ROOSMALEN, L. **Telerehabilitation technologies: accessibility and usability.** *International journal of telerehabilitation*, 2009.
- [118] PRUSZYŃSKA, M.; MILEWSKA-JUNDEFINEDRZEJCZAK, M.; BEDNARSKI, I.; SZPAKOWSKI, P.; GŁĄBIŃSKI, A.; TADEJA, S. K. **Towards effective telerehabilitation: Assessing effects of applying augmented reality in remote rehabilitation of patients suffering from multiple sclerosis.** *ACM Trans. Access. Comput.*, 2022.
- [119] RAJKUMAR, A.; VULPI, F.; BETHI, S. R.; RAGHAVAN, P.; KAPILA, V. **Usability study of wearable inertial sensors for exergames (wise) for movement assessment and exercise.** *Mhealth*, 2021.
- [120] RATAN, R. A.; HASLER, B. **Self-presence standardized: Introducing the self-presence questionnaire (spq).** 2009. Pinned\_Collections: SHMH3X2W.
- [121] REATEGUI-RIVERA, C. M.; VILLARREAL-ZEGARRA, D.; DE LA CRUZ-TORRALVA, K.; DÍAZ-SÁNCHEZ, P.; FINKELSTEIN, J. **Immersive technologies for depression care: Scoping review.** *JMIR Mental Health*, 11, 2024.
- [122] REGENBRECHT, H. T.; SCHUBERT, T. W.; FRIEDMANN, F. **Measuring the sense of presence and its relations to fear of heights in virtual environments.** *International Journal of Human-Computer Interaction*, 10(3), 1998.
- [123] RETZ, C.; JÜRGEN KLOTZBIER, T.; GHELLAL, S.; SCHOTT, N. **Interdisciplinary design process of a mixed reality exergame for motor-cognitive health training based on the trail-walking-test.** In: *2023 IEEE 11th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*. Ieee, 2023.
- [124] RICHMOND, T.; PETERSON, C.; CASON, J.; BILLINGS, M.; TERRELL, E. A.; LEE, A. C. W.; TOWEY, M.; PARMANTO, B.; SAPTANO, A.; COHN, E. R.; BRENNAN, D. **American telemedicine association's principles for delivering telerehabilitation services.** *International Journal of Telerehabilitation*, 9(2), 2017.

- [125] ROSIQUE, F.; LOSILLA, F.; NAVARRO, P. J. **Applying vision-based pose estimation in a telerehabilitation application.** *Applied Sciences-basel*, 2021.
- [126] ROTH, D.; LATOSCHIK, M. E. **Construction of the virtual embodiment questionnaire.** *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 26(12), 2020.
- [127] SAHA, S.; DOBBINS, C.; GUPTA, A.; DEY, A. **Machine learning based classification of presence utilizing psychophysiological signals in immersive virtual environments.** *Scientific Reports*, 14(1), 2024.
- [128] SAHA, S.; DOBBINS, C.; GUPTA, A.; DEY, A. **Differentiating presence in virtual reality using physiological signals.** *Pervasive and Mobile Computing*, 111, 2025.
- [129] SAS, C.; O'HARE, G. M. P. **Presence equation: An investigation into cognitive factors underlying presence.** *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 12(5), 2003.
- [130] SCHUBERT, T.; FRIEDMANN, F.; REGENBRECHT, H. **The experience of presence: Factor analytic insights (ipq).** *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 10(3), 2001. Pinned\_Collections: SHMH3X2W.
- [131] SCHUTZ, F.; BEDIN, L. M.; SARRIERA, J. C. **Propriedades psicométricas da escala de presença em tecnologias ubíquas.** *Psico*, 51(2), 2020.
- [132] SHAMBUSHANKAR, A. K.; JOSE, J.; GNASEKARAN, S.; KAUR, G. **Cost-effectiveness of telerehabilitation compared to traditional in-person rehabilitation: A systematic review and meta-analysis.** *Cureus*, 2025.
- [133] SILVERTHORN, D. U. **Fisiologia Humana Uma Abordagem Integrada.** Artmed, 7ª edition, 2017.
- [134] SKARBEZ, R.; BROOKS, F. P.; WHITTON, M. C. **Immersion and coherence: Research agenda and early results.** *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 27(10), 2021.
- [135] SKARBEZ, R.; BROOKS, JR, F. P.; WHITTON, M. C. **A survey of presence and related concepts.** *ACM computing surveys (CSUR)*, 50(6), 2017.
- [136] SKARBEZ, R.; SMITH, M.; WHITTON, M. C. **Revisiting milgram and kishino's reality-virtuality continuum.** *Frontiers in Virtual Reality*, 2, 2021.
- [137] SLATER, M. **Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments.** *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2009.

- [138] SLATER, M.; BANAKOU, D.; BEACCO, A.; GALLEGRO, J.; MACIA-VARELA, F.; OLIVA, R. **A separate reality: An update on place illusion and plausibility in virtual reality.** *Frontiers in Virtual Reality*, 3, 2022.
- [139] SLATER, M.; USOH, M.; STEED, A. **Depth of presence in virtual environments.** *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 3(2), 1994.
- [140] SLATER, M.; WILBUR, S. **A framework for immersive virtual environments (five): Speculations on the role of presence in virtual environments.** *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6, 1997.
- [141] SOUZA, C. H. R.; DE OLIVEIRA, S. S.; NASCIMENTO, D. F.; BERRETTA, L. O.; CARVALHO, S. T. **Cicloexergame: Player experience evaluation of an exergame for patient telerehabilitation.** *Smart Health*, 38, 2025.
- [142] SOUZA, V.; MACIEL, A.; NEDEL, L.; KOPPER, R. **Measuring presence in virtual environments: A survey.** *ACM Computing Surveys*, 54(8), 2022.
- [143] SPITTLE, B.; FRUTOS-PASCUAL, M.; CREED, C.; WILLIAMS, I. **A review of interaction techniques for immersive environments.** *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2022.
- [144] STANMORE, E.; EOST-TELLING, C.; MEEKES, W.; BANHAM, K.; CHILLALA, J.; ROY, B.; FIRTH, J. **Exergames for falls prevention in sheltered homes: a feasibility study.** *Frontiers In Public Health*, 2024.
- [145] STEUER, J. **Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence.** *Journal of Communication*, 42(4), 1992.
- [146] TENE, T.; MARCATOMA TIXI, J. A.; PALACIOS ROBALINO, M. D. L.; MENDOZA SALAZAR, M. J.; VACACELA GOMEZ, C.; BELLUCCI, S. **Integrating immersive technologies with stem education: a systematic review.** *Frontiers in Education*, 9, 2024.
- [147] THEODOROS, D.; RUSSELL, T.; LATIFI, R. **Telerehabilitation: current perspectives.** *Studies in health technology and informatics*, 2008.
- [148] THORNSON, C. A.; GOLDIEZ, B. F.; LE, H. **Predicting presence: Constructing the tendency toward presence inventory.** *International Journal of Human-Computer Studies*, 67(1), 2009.
- [149] TOET, A.; MIOCH, T.; GUNKEL, S. N.; NIAMUT, O.; VAN ERP, J. B. **Assessment of presence in augmented and mixed reality**, 2021. Pinned\_Collections: SHMH3X2W.

- [150] TRAN, T. Q.; LANGLOTZ, T.; REGENBRECHT, H. **A survey on measuring presence in mixed reality.** In: *Proceedings of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Honolulu HI USA, 2024. Acm.
- [151] URBINA, S. **Essentials of psychological testing.** Essentials of behavioral science series. Wiley, second edition edition.
- [152] USOH, M.; CATENA, E.; ARMAN, S.; SLATER, M. **Using presence questionnaires in reality.** *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 9(5), 2000. Pinned\_Collections: SHMH3X2W.
- [153] VAJK, T.; COULTON, P.; BAMFORD, W.; EDWARDS, R. **Using a mobile phone as a “wii-like” controller for playing games on a large public display.** *International Journal of Computer Games Technology*, 2008(1), 2007.
- [154] WANG, C.-H.; HWANG, Y.-S.; CHEN, Y.-L.; CHEN, C.-C.; TSAI, K.-Y. **Implementation of interactive games to a shoulder rehabilitation and evaluation system.** *Technology and Health Care*, 2020.
- [155] WANG, L.; HUANG, M.; ZHENG, Y.; WEI, J.; YANG, R. **Weight perception and controlling experience in loaded virtual rehabilitation: Effect of biased weight feedback and modulated movement.** In: *2023 IEEE 11th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*, 2023.
- [156] WEIBEL, D.; SCHMUTZ, J.; PAHUD, O.; WISSMATH, B. **(sam) measuring spatial presence: Introducing and validating the pictorial presence sam.** *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 24(1), 2015.
- [157] WITMER, B. G.; JEROME, C. J.; SINGER, M. J. **The factor structure of the presence questionnaire.** *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 14, 2005.
- [158] WITMER, B. G.; SINGER, M. J. **Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire.** *Presence*, 7, 1998.
- [159] WORLIKAR, H.; COLEMAN, S.; KELLY, J.; O’CONNOR, S.; MURRAY, A.; MCVEIGH, T.; DORAN, J.; MCCABE, I.; O’KEEFFE, D. **Mixed reality platforms in telehealth delivery: Scoping review.** *JMIR Biomedical Engineering*, 8, 2023.
- [160] WU, R.; CHAKKA, K.; BELKO, S.; KHARGONKAR, N.; DESAI, K.; PRABHAKARAN, B.; ANNASWAMY, T. **Comparing in-person, standard telehealth, and remote musculoskeletal examination with a novel augmented reality exercise game system: Pilot cross-sectional comparison study.** *Jmir Serious Games*, 2025.

- [161] YAU, T.; CHAN, J.; MCINTYRE, M.; BHOGAL, D.; ANDREOLI, A.; LEOCHICO, C. F. D.; BAYLEY, M.; KUA, A.; GUO, M.; MUNCE, S. **Adverse events associated with the delivery of telerehabilitation across rehabilitation populations: A scoping review.** *Plos One*, 19(11), 2024.
- [162] YOUNGBLUT, C. **Experience of presence in virtual environments.** 2003.
- [163] YUN, S. J.; HYUN, S. E.; OH, B.-M.; SEO, H. G. **Fully immersive virtual reality exergames with dual-task components for patients with parkinson's disease: a feasibility study.** *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 20(1), 2023.