

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JOÃO PEDRO VICENTE RAMALHO

ARCO-VR: UM JOGO SÉRIO EM REALIDADE VIRTUAL PARA REABILITAÇÃO
COGNITIVA BASEADO NA METODOLOGIA DLOTCA

CURITIBA PR

2025

JOÃO PEDRO VICENTE RAMALHO

ARCO-VR: UM JOGO SÉRIO EM REALIDADE VIRTUAL PARA REABILITAÇÃO
COGNITIVA BASEADO NA METODOLOGIA DLOTCA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à conclusão do Curso de Bacharelado em Ciência da Computação, Setor de Ciências Exatas, da Universidade Federal do Paraná.

Área de concentração: *Ciência da Computação*.

Orientador: Eduardo Todt.

CURITIBA PR

2025

*Ao eu de ontem,
que encontrou na computação
um lugar improvável para criar
mundos.*

*Que descobriu, entre códigos e
erros, que imaginação também
habita em números.*

*Ao eu de amanhã,
que talvez ainda hesite diante de
novos obstáculos.*

*Que esta página sirva de lembrete:
o caminho se aprende andando, e o
medo, quando encarado, encolhe.*

*E a você, leitor
que chegou a este trabalho
e agora lê estas linhas,
desejo que encontre aqui algo útil
inspirador, ou ao menos
um bom encontro.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer aos meus pais, Silvia e Flavio, por todo o apoio que me deram nessa caminhada, sempre me motivando a estudar e a aguentar firme, porque “já já acaba, daqui a pouco você fica livre”. Sem o apoio incondicional de vocês nada disso teria sido possível, afinal, não é pra qualquer um atravessar 421 quilômetros no dia 21 de abril de 2022, em menos de 24 horas após anunciarem a convocação dos aprovados. A vocês, deixo não só minha gratidão, mas também a certeza de que cada linha escrita aqui carrega um pedaço do esforço, paciência e amor que sempre me ofereceram.

Agradeço ao meu irmão Guilherme, pelo companheirismo de sempre. E que agora também está trilhando o caminho da computação. Finalmente posso reclamar em casa sobre os trabalhos da faculdade com alguém que entende o que é sofrer por um *segmentation fault*. Que o seu caminho seja repleto de boas descobertas, grandes conquistas, muitas alegrias e que, com sorte, seja menos conturbado que o meu.

Seria muito injusto se eu esquecesse de agradecer a todos os meus amigos paulistanos, que também foram motivo dos meus anseios pelos retornos à casa. Um agradecimento especial a Anna Júlia, Tiago, Gabi e Gabriel, que sempre faziam questão de marcar encontros para contar as novidades, dividir conquistas e manter viva a sensação de pertencimento mesmo à distância.

Eu também gostaria de agradecer a todas as amizades que fiz ao longo desses quatro anos. Sem vocês, os momentos difíceis teriam sido ainda mais pesados, os desafios mais desafiadores e as histórias, certamente, menos engraçadas. Em especial, agradeço ao Mateus Herbele e Heloisa, que foram os primeiros com os quais me aproximei e logo criei um forte vínculo; a Gabs, Armênio, Bárbara, Bruno e Palacio, por tornarem minhas manhãs e almoços muito mais leves, animados e cheios de conversa. E ao companheiro e amigo mais especial, Vitor, agradeço por todos os momentos compartilhados nesses quase três anos, pelas risadas, pelas conversas profundas sobre planos e sonhos, pelos doces caseiros e, acima de tudo, pelo apoio.

Agradeço ao meu orientador, professor Eduardo Todt, pela orientação e dedicação. É imensurável o quanto aprendi nas disciplinas de Arquitetura, Redes e Visão Computacional e, principalmente, nas nossas recentes conversas e reuniões como orientador e orientando.

Aos professores Renato Nickel e Eduardo Spinosa, agradeço por aceitarem o convite para compor a Banca Examinadora deste trabalho. Em especial, ao professor Renato, que, em conjunto com a equipe da Clínica-Escola de Terapia Ocupacional, Marina Siqueira Campos Bastos e Kelly Regina Dias da Silva Scipioni, ofereceu todo o apoio necessário para que este projeto pudesse sair do papel e ganhar forma em um contexto real de aplicação.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, me auxiliaram nesta trajetória e que não foram mencionados aqui. Cada palavra de incentivo, cada conversa e cada gesto de apoio ajudaram a construir o caminho que me trouxe até este momento.

RESUMO

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento do ARCo-VR, um jogo sério em realidade virtual projetado para auxiliar na reabilitação cognitiva de pacientes pós-AVC, com base nos princípios do protocolo DLOTCA. No jogo, o paciente deve localizar e coletar objetos domésticos distribuídos em um ambiente virtual, tarefa estruturada para avaliar e estimular habilidades cognitivas como atenção, memória e planejamento. O sistema foi projetado com enfoque na usabilidade e acessibilidade, incorporando funcionalidades como um sistema de teleporte e parametrizações para mitigar o *cyber sickness*, de modo a adaptar a experiência às condições clínicas individuais de cada paciente. Sua arquitetura modular e orientada a eventos garante extensibilidade e baixo acoplamento, facilitando a evolução e manutenção do *software*. Para validação inicial do sistema, foram conduzidos testes exploratórios com voluntários e especialistas utilizando o *headset* Meta Quest 2, que confirmaram a estabilidade, usabilidade e a viabilidade da aplicação do protótipo em um contexto clínico real.

Palavras-chave: Realidade Virtual. Reabilitação Cognitiva. AVC. DLOTCA. Jogo Sério.

ABSTRACT

This work presents the development of ARCo-VR, a serious virtual reality game designed to support the cognitive rehabilitation of post-stroke patients, based on the principles of the DLOTCA protocol. In the game, the patient must locate and collect household objects distributed throughout a virtual environment, a task structured to assess and stimulate cognitive skills such as attention, memory, and planning. The system was designed with a focus on usability and accessibility, incorporating features such as a teleportation system and parameter settings to mitigate cyber sickness, in order to adapt the experience to each patient's individual clinical conditions. Its modular, event-driven architecture ensures extensibility and low coupling, facilitating the evolution and maintenance of the software. For initial system validation, exploratory tests were conducted with volunteers and specialists using the Meta Quest 2 headset, which confirmed the prototype's stability, usability, and feasibility for application in a real clinical context.

Keywords: Virtual Reality. Cognitive Rehabilitation. Stroke. DLOTCA. Serious Game.

LISTA DE FIGURAS

2.1	Progressão entre RV, RA e RM. O mesmo elemento virtual (robô) é inicialmente apresentado em um ambiente totalmente simulado (a); posteriormente, é sobreposto ao mundo real sem imersão (b) e, por fim, é integrado ao ambiente físico com coerência de iluminação e oclusão (c).	15
2.2	Sensor Kinect.. . . .	16
2.3	Óculos de Realidade Virtual (Oculus Quest).. . . .	16
2.4	Arquitetura de desenvolvimento com Game Engine.. . . .	19
3.1	Captura de telas do RehabMaster.. . . .	22
3.2	Captura de tela do AeroVR	23
4.1	Exemplos de <i>feedbacks</i> gerados pelo sistema de mediação.	27
4.2	Plantas-base dos grupos de fases.. . . .	28
4.3	Interface do terapeuta.	31
4.4	Modal para criação de novo perfil de paciente.. . . .	31
4.5	Visão geral do desempenho do paciente.	32
4.6	Tela de menu principal.	32
4.7	Lista de objetos a serem coletados.	33
4.8	Modal de encerramento da fase.	33
4.9	Comparação entre <i>low poly</i> (esquerda) e <i>high poly</i> (direita)..	34
4.10	Interface de encerramento antecipado da fase.	34
4.11	Tapetes de teleporte distribuídos pelo cenário.	35
5.1	Diagrama topológico da arquitetura do ARCo-VR. O barramento <i>GameEvents</i> é o responsável por distribuir mensagens entre os subsistemas. Na notação adotada, conexões com setas indicam fluxo unidirecional de eventos, enquanto conexões sem setas representam comunicação bidirecional, utilizada quando subsistemas podem tanto publicar quanto consumir mensagens.	39
5.2	Diagrama de sequência de sistema (terapeuta-interface)..	40
5.3	Diagrama de sequência de sistema (interface-sistema).	41
B.1	Diagrama de sequência de sistema completo.	62

LISTA DE TABELAS

2.1	Requisitos de reabilitação para jogos sérios.	18
3.1	Comparativo entre sistemas de reabilitação pós-AVC baseados em realidade virtual.	23
4.1	Níveis de intervenção e <i>feedback</i> no jogo.	26
4.2	Esquema de fases do jogo.	29
4.3	Parâmetros do modo Cronometrado.	30
4.4	Parâmetros do modo Limite de Erros.	30
6.1	Especificações técnicas do <i>headset</i> Meta Quest 2.	44
6.2	Resultados da avaliação do ARCo-VR por terapeutas ocupacionais	45

LISTA DE ACRÔNIMOS

AVC	Acidente Vascular Cerebral
DLOTCA	Dynamic Loewenstein Occupational Therapy Cognitive Assessment
GBD	Global Burden of Diseases
TO	Terapia Ocupacional
MCDO	Modelo Canadense de Desempenho Ocupacional
AVD	Atividades de Vida Diária
LOTCA	Loewenstein Occupational Therapy Cognitive Assessment
RV	Realidade Virtual
RE	Realidade Estendida
RA	Realidade Aumentada
RM	Realidade Mista

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	TERAPIA OCUPACIONAL	13
2.2	METODOLOGIA DLOTCA	14
2.3	REALIDADE VIRTUAL	15
2.4	JOGOS SÉRIOS	17
2.5	ENGAJAMENTO DO JOGADOR	18
2.6	GAME ENGINES	19
2.7	CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO	20
3	TRABALHOS RELACIONADOS	21
4	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	25
4.1	MODELO DE SOFTWARE	25
4.2	EVOLUÇÃO INCREMENTAL	25
4.3	INTEGRAÇÃO DA DLOTCA AO JOGO	26
4.4	FASES, PROGRESSÃO E CONFIGURAÇÃO DAS TAREFAS	27
4.4.1	Tutorial	28
4.4.2	Níveis de Dificuldade	28
4.4.3	Classes de objetos e tipos de feedback	28
4.5	PARAMETRIZAÇÃO DAS FASES E MODOS DE JOGO	29
4.6	INTERFACE DO USUÁRIO	30
4.6.1	Interface do terapeuta	31
4.6.2	Interfaces do paciente	32
4.7	DECISÕES DE DESIGN, USABILIDADE E ACESSIBILIDADE	33
4.8	CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO	35
5	ARQUITETURA DO SISTEMA	37
5.1	VISÃO GERAL	37
5.2	ENTIDADES CENTRAIS	37
5.2.1	<i>ObjectClass</i>	37
5.2.2	<i>PhaseConfig</i>	38
5.3	SUBSISTEMAS E SERVIÇOS	39
5.4	CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO	41
6	VALIDAÇÃO E TESTES	43
6.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	43

6.2	PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO.	43
6.2.1	Protocolo com voluntários	44
6.2.2	Protocolo com especialistas.	44
6.3	RESULTADOS	44
6.4	CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO	46
7	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS	48
	APÊNDICE A – ARQUITETURA DO SISTEMA DETALHADA	53
A.1	<i>TASKMANAGER</i>	53
A.1.1	Responsabilidades.	53
A.1.2	Eventos	53
A.1.3	Contratos	54
A.2	SUBSISTEMA DE CONFIGURAÇÃO DE OBJETOS COLETÁVEIS.	54
A.2.1	Responsabilidades.	54
A.2.2	Eventos	54
A.2.3	Contratos	54
A.3	SUBSISTEMA DE SPAWN DE OBJETOS	55
A.3.1	Responsabilidades.	55
A.3.2	Eventos	55
A.3.3	Contratos	55
A.4	SUBSISTEMA DE MEDIAÇÃO.	56
A.4.1	Responsabilidades.	56
A.4.2	Eventos	56
A.4.3	Contratos	57
A.5	SUBSISTEMA DE CONFIGURAÇÕES DE FASES	57
A.5.1	Responsabilidade	57
A.5.2	Eventos	57
A.5.3	Contratos	58
A.6	SUBSISTEMA DE PERFIS DE PACIENTE.	58
A.6.1	Responsabilidade	58
A.6.2	Eventos	58
A.6.3	Contratos	59
	APÊNDICE B – FLUXO ARQUITETURAL DETALHADO	60

1 INTRODUÇÃO

O Acidente Vascular Cerebral (AVC), também conhecido como derrame cerebral, é uma condição vascular caracterizada pela interrupção súbita do fluxo sanguíneo em uma região específica do cérebro, o que resulta em comprometimento das funções neurológicas [1]. Essa interrupção pode ocorrer devido a duas causas principais: a oclusão de um vaso sanguíneo (AVC isquêmico) ou sua ruptura (AVC hemorrágico) [2].

Nos últimos cinco anos, o AVC consolidou-se como a principal causa de mortes no Brasil, superando o infarto agudo do miocárdio. Em 2023, o país registrou 112.052 óbitos relacionados à condição, aproximando-se das estatísticas globais de mortalidade [3]. Desde 2019, o AVC mantém-se à frente das doenças cardiovasculares em número de mortes, o que demonstra seu impacto crescente no cenário nacional [4].

Em escala global, o AVC é a segunda maior causa de óbitos, responsável por aproximadamente 6,55 milhões de mortes em 2019, conforme dados do Global Burden of Diseases (GBD) Study [5]. Embora esses mesmos dados apontem redução mundial na mortalidade do AVC, o Brasil apresenta uma tendência inversa, com aumento progressivo de casos, o que exige planejamento do sistema de saúde para mitigar seus efeitos [6].

Além de apresentar elevada mortalidade, o AVC está associado a uma alta frequência de incapacidade funcional, afetando cerca de 85% dos sobreviventes, que convivem com sequelas que comprometem significativamente sua qualidade de vida [7]. Dentre as consequências mais comuns estão déficits motores, como hemiparesia¹ e descoordenação motora, que limitam a execução de atividades cotidianas [9]. Somam-se a esses desafios os déficits cognitivos, como alterações na atenção, memória, linguagem e praxias², que dificultam a reintegração social e profissional dos pacientes [11].

Atualmente, as abordagens de reabilitação pós-AVC incluem fisioterapia, terapia ocupacional e fonoaudiologia, com foco na recuperação de funções motoras e cognitivas. No entanto, esses métodos tradicionais enfrentam certos obstáculos, como a baixa motivação dos pacientes, a dificuldade de acesso a serviços especializados e de adaptação dos tratamentos às necessidades individuais, fatores esses que podem reduzir a eficácia das intervenções e a adesão ao tratamento [12].

Diante desse cenário e dos desafios enfrentados pelas abordagens tradicionais, sobretudo no que se refere ao engajamento e à personalização do tratamento, a integração de tecnologias digitais surge como uma alternativa promissora [13]. Um exemplo são os jogos sérios (*Serious Games*), aplicações que introduzem objetivos terapêuticos ou educacionais de uma forma mais lúdica. Jogos sérios em ambientes 3D, por exemplo, podem fornecer experiências mais imersivas e motivadoras. No entanto, para que essa prática seja eficaz na reabilitação, é importante que as tarefas sejam dinamicamente ajustadas ao nível de desempenho individual do paciente. Nesse contexto, destaca-se a Dynamic Lowenstein Occupational Therapy Cognitive Assessment (DLOTCA), uma metodologia que permite avaliar o desempenho cognitivo de forma contínua e adaptar a dificuldade das tarefas em tempo real, promovendo uma intervenção mais responsiva às necessidades de cada indivíduo.

¹A hemiparesia é a fraqueza ou redução parcial da força motora em um dos lados do corpo, geralmente decorrente de lesões cerebrais como AVC [8].

²As praxias referem-se à capacidade de planejar e executar movimentos coordenados e intencionais; sua alteração, denominada apraxia, compromete o desempenho de atividades motoras aprendidas [10].

Nesse contexto, este trabalho propõe o desenvolvimento do ARCo-VR, um jogo sério em realidade virtual voltado para a reabilitação cognitiva de pacientes pós-AVC, desenvolvido na plataforma Unity. No jogo, o paciente recebe a missão de coletar um conjunto de objetos domésticos espalhados em um cenário virtual. Os objetivos específicos deste trabalho são: (i) implementar mecânicas de coleta de objetos e níveis progressivos de dificuldade; (ii) integrar *feedback* em tempo real alinhado à DLOTCA; e (iii) avaliar a usabilidade e o engajamento do protótipo. A expectativa é que a proposta amplie a eficácia das intervenções terapêuticas e fortaleça a motivação e adesão dos pacientes durante a reabilitação.

Este trabalho está organizado em sete capítulos. O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica, abordando os principais conceitos da Terapia Ocupacional no pós-AVC, a metodologia DLOTCA, o uso de tecnologias como realidade virtual, jogos sérios e gamificação na reabilitação cognitiva. Também são discutidas estratégias de *feedback* adaptativo e o uso de *game engines*, com foco na aplicação em contextos de saúde. O Capítulo 3 revisa trabalhos relacionados, enquanto o Capítulo 4 descreve o processo de desenvolvimento e detalhes do jogo proposto. O Capítulo 5 aborda a arquitetura da solução. O Capítulo 6 apresenta os métodos de validação e os testes realizados. Por fim, o Capítulo 7 reúne as conclusões e perspectivas futuras do trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os fundamentos conceituais e tecnológicos que orientam o desenvolvimento do ARCo-VR. Inicia-se com uma visão geral da Terapia Ocupacional e de suas abordagens tradicionais, destacando limitações que motivam a adoção de tecnologias digitais como apoio terapêutico. Em seguida, introduz-se a metodologia DLOTCA, que serve de base para o modelo de mediação dinâmica implementado no jogo. Posteriormente, discute-se o papel da realidade virtual como ferramenta imersiva e adaptável, capaz de recriar cenários funcionais com alto grau de personalização. A partir disso, examina-se o conceito de jogos sérios e sua aplicação em contextos clínicos, abordando princípios de engajamento e mecanismos de *feedback* que favorecem o aprendizado e a motivação. Por fim, são apresentados os aspectos técnicos que sustentam a implementação da proposta, com ênfase na escolha da *game engine* Unity como plataforma de desenvolvimento.

2.1 TERAPIA OCUPACIONAL

A Terapia Ocupacional (TO) é uma área da saúde que estuda como as atividades diárias influenciam o bem-estar e a participação social de indivíduos em diferentes contextos, sendo o seu objetivo central permitir a participação das pessoas nas atividades da vida cotidiana [14]. Inicialmente inserida no campo da saúde, a TO ampliou seu escopo de atuação para áreas como assistência social, educação e cultura, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida em diferentes realidades sociais [15].

Do ponto de vista teórico, ela se baseia em diferentes modelos que buscam compreender a relação entre o indivíduo, suas atividades e o contexto em que está inserido. Entre esses modelos, destaca-se o Modelo Canadense de Desempenho Ocupacional (MCDO) destaca a interação dinâmica entre pessoa, ambiente e tarefas como determinante para a eficácia terapêutica [16, 17]. Por sua vez, a Teoria da Atividade Humana entende as ações cotidianas como meios para restaurar funções, fortalecer competências individuais e favorecer o bem-estar [18].

Na prática clínica, as intervenções tradicionais dividem-se em duas frentes principais. A primeira envolve o treino de Atividades de Vida Diária (AVDs), como transferências (se mover do leito para a cadeira de rodas) e uso de dispositivos auxiliares (órteses e talheres adaptados), bem como adaptações ambientais (barras de apoio). Exemplos modernos incluem tarefas orientadas, como o preparo de chá, assistido por modelo computacional, para redução de erros e tempo de execução [19], e programas domiciliares guiados focados em autocuidados e mobilidade dentro do lar [20].

A segunda frente inclui exercícios cognitivos para estimular funções executivas e a atenção. Entre os métodos empregados, destacam-se: o treino de dupla tarefa, como realizar cálculos mentais durante simulações de compras [21]; o uso de programas computadorizados voltados à memória de trabalho [22]; e protocolos que combinam exercício físico com desafios cognitivos, como realizar caminhadas enquanto o paciente precisa manter a concentração em estímulos externos (instruções verbais) [23].

Apesar de sua relevância histórica, esses métodos enfrentam alguns desafios, como a baixa transferência funcional e a utilização de protocolos rigidamente padronizados. Estudos preliminares indicam que as melhorias obtidas podem estar restritas ao tipo específico de exercício realizado, ou seja, pequenas modificações na tarefa podem atenuar os efeitos positivos, o que sugere uma evolução funcional limitada e baixa transferência para atividades cotidianas [19, 22].

Essas limitações evidenciam a necessidade de modelos mais integrados e centrados no paciente, capazes de combinar treino de AVDs e estimulação cognitiva em contextos mais imersivos. As metodologias baseadas em realidade virtual, por exemplo, permitem criar cenários personalizados, desde tarefas domésticas até ambientes comunitários, possibilitando a variação dos níveis de desafio e fornecendo *feedback* em tempo real, o que não apenas aumenta o engajamento do paciente, mas também favorece uma melhor transferência de habilidades para o dia a dia [24, 25].

2.2 METODOLOGIA DLOTCA

A metodologia DLOTCA (Dynamic Lowenstein Occupational Therapy Cognitive Assessment) representa uma evolução na avaliação cognitiva aplicadas pelos terapeutas ocupacionais, incorporando princípios da mediação dinâmica para analisar e intervir em processos cognitivos [26]. Originada da LOTCA (Loewenstein Occupational Therapy Cognitive Assessment) [27], desenvolvida na década de 1980 para avaliar funções cognitivas em pacientes com lesões cerebrais, a DLOTCA integrou abordagens mediacionais baseadas na Teoria da Modificabilidade Cognitiva Estrutural de [28]. Essa transição reflete uma mudança de paradigma, que enfatiza a capacidade do indivíduo de modificar seu desempenho por meio de intervenções estruturadas, em vez de se concentrar apenas na identificação de déficits.

A estrutura da DLOTCA organiza-se em domínios cognitivos específicos, como orientação, atenção e processamento visual. Diferentemente de outras avaliações, a DLOTCA adota uma perspectiva dinâmica: cada domínio é avaliado por meio de tarefas funcionais que simulam demandas do cotidiano, permitindo ao terapeuta observar não apenas o resultado, mas sobretudo os processos de mediação dinâmica que ocorrem durante a execução. Por exemplo, na avaliação do planejamento motor, o paciente pode ser solicitado a montar um objeto tridimensional. Caso ele demonstre dificuldade, o terapeuta oferece pistas graduais (suporte mediacional), ajustando o nível de desafio para facilitar a autorregulação do comportamento.

No jogo proposto, essa mediação dinâmica é implementada por meio de um sistema hierárquico de suporte cognitivo, que responde progressivamente às falhas do paciente em coletar objetos. Esse sistema compreende três níveis:

1. **Nível inicial:** ativação de estímulos visuais, como mensagens textuais e destaque em objetos-alvo;
2. **Nível intermediário:** introdução de estímulos sonoros, como alertas sonoros;
3. **Nível avançado:** redução adaptativa da dificuldade da tarefa.

A justificativa para essa integração tecnológica reside, primeiramente, no potencial da realidade virtual. Ela oferece ambientes controlados ideais para implementação de tarefas funcionais com alta personalização e resposta em tempo real, que por sua vez são características cruciais para a reabilitação dinâmica [29].

Em segundo lugar, a gamificação¹ potencializa ainda mais este processo. O jogo proposto transforma exercícios repetitivos em desafios lúdicos com adaptabilidade dinâmica essencial para populações heterogêneas (idosos com demência e adultos pós-AVC). Conforme destacado por [31], o equilíbrio entre reforço positivo e correção de erros, implementado através dos níveis de mediação, é crucial para manter a motivação sem comprometer objetivos terapêuticos.

¹Aplicação de elementos de jogos em contextos não lúdicos [30].

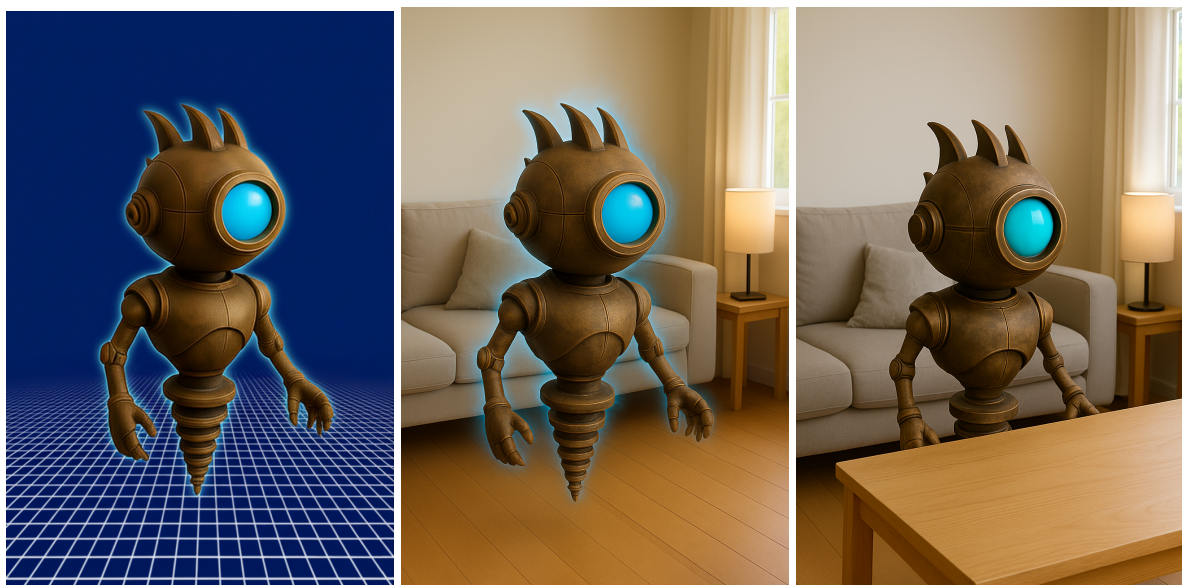
Dessa forma, a integração da DLOTCA em nosso jogo de RV surge como estratégia promissora para reabilitação pós-AVC, unindo avaliação cognitiva dinâmica e intervenção personalizada em ambientes imersivos.

2.3 REALIDADE VIRTUAL

A Realidade Virtual (RV) é uma tecnologia que proporciona aos usuários a imersão em ambientes tridimensionais simulados, isolando-os do mundo físico e permitindo interação sensorial, cognitiva e motora em tempo real com elementos digitais. Como parte do espectro da Realidade Estendida (RE), que abrange também a Realidade Aumentada (RA) e a Realidade Mista (RM), a RV se destaca por oferecer imersão completa em um universo virtual, sem nenhum vínculo visual direto com o ambiente real (Figura 2.1(a)).

Em contrapartida, a Realidade Aumentada sobrepõe elementos virtuais ao mundo real, de modo que o usuário continua vendo o ambiente físico, mas com informações digitais acrescentadas em tempo real (Figura 2.1(b)). Enquanto isso, a Realidade Mista busca conciliar esses dois extremos: cria-se um espaço em que objetos virtuais e reais coexistem e interagem, de forma que os elementos digitais reajam a superfícies e objetos do ambiente físico, por exemplo, respeitando oclusão e iluminação (Figura 2.1(c)).

Essa classificação está baseada na taxonomia proposta por Milgram e Kishino [32], conhecida como *Reality–Virtuality Continuum*, que posiciona cada uma dessas modalidades ao longo de um eixo que vai do mundo real ao mundo totalmente virtual.



(a) Realidade Virtual (RV)

(b) Realidade Aumentada (RA)

(c) Realidade Mista (RM)

Figura 2.1: Progressão entre RV, RA e RM. O mesmo elemento virtual (robô) é inicialmente apresentado em um ambiente totalmente simulado (a); posteriormente, é sobreposto ao mundo real sem imersão (b) e, por fim, é integrado ao ambiente físico com coerência de iluminação e oclusão (c).

O desenvolvimento da RV iniciou-se entre as décadas de 1960 e 1990, com aplicações voltadas principalmente às áreas militares, aeroespaciais e acadêmicas, como simuladores de voo e ambientes de treinamento [33]. Na década de 1990, a sua popularização começou a ganhar força com o surgimento dos primeiros dispositivos comerciais, como o *Virtuality System* e

¹As imagens foram geradas por inteligência artificial, disponível em: <https://app.leonardo.ai/>

experiências em *arcades*² [34], além dos primeiros experimentos em contextos clínicos. Nesse período, pesquisadores começaram a explorá-la como ferramenta terapêutica, especialmente no tratamento de fobias, ansiedade e reabilitação cognitiva, utilizando ambientes simulados para exposição gradual e segura dos pacientes a situações desencadeadoras de estresse ou desafios motores [35, 36, 37, 38].

A evolução dos sensores foi um marco importante para consolidar a Realidade Virtual como uma tecnologia viável e acessível. O lançamento do Kinect em 2010 (Figura 2.2), por exemplo, permitiu a captura precisa de movimentos corporais sem a necessidade de dispositivos vestíveis, ampliando as possibilidades de interação [39]. De forma paralela, avanços nas tecnologias de monitoramento neurofisiológico, como a integração de eletroencefalografia com ambientes virtuais, possibilitaram o desenvolvimento de interfaces cérebro-computador, ampliando as aplicações da RV tanto em pesquisas quanto em práticas clínicas, permitindo ao usuário se movimentar em ambientes virtuais ou manipular objetos por meio da atividade cerebral [40].



Figura 2.2: Sensor Kinect. Imagem retirada de [41].

Um marco relevante foi o surgimento dos *headsets* autônomos, como o Oculus Quest (Figura 2.3), que transformaram o cenário ao eliminar a necessidade de computadores potentes ou sensores externos, tornando a realidade virtual mais portátil e economicamente acessível. Simultaneamente, a popularização de dispositivos de Realidade Aumentada, como *smartphones* equipados com sensores de profundidade, democratizou ainda mais o acesso às experiências imersivas, não apenas para entretenimento, mas também para aplicações profissionais e terapêuticas [42].



Figura 2.3: Óculos de Realidade Virtual (Oculus Quest). Imagem retirada de [43].

²Espaços públicos de entretenimento digital popularizados nos anos 80 e 90, onde os usuários podiam pagar para jogar jogos eletrônicos.

Atualmente na área da saúde, a Realidade Virtual tem se mostrado uma ferramenta promissora e versátil, aplicada em diversos contextos, como tratamento de transtornos mentais, reabilitação motora, controle da dor e treinamento cirúrgico. No tratamento de fobias e transtornos de ansiedade, por exemplo, a RV permite a realização de terapias de exposição em ambientes controlados e seguros, com eficácia comprovada [44]. No controle da dor, especialmente em procedimentos dolorosos como curativos em pacientes queimados, a imersão em ambientes virtuais tem se mostrado eficaz na redução da percepção da dor, funcionando como uma técnica de distração sensorial [45].

No contexto da reabilitação pós-AVC, a Realidade Virtual tem sido utilizada tanto na recuperação motora quanto cognitiva. Por meio da simulação de atividades da vida diária e da oferta de *feedback* em tempo real, os sistemas de RV estimulam a plasticidade cerebral³, promovendo a reorganização das conexões neurais comprometidas, de maneira semelhante à observada na terapia convencional [46].

Além disso, a possibilidade de adaptar os desafios às necessidades e ao progresso individual de cada paciente contribui para aumentar a motivação e a adesão ao tratamento. Um estudo recente mostra que ambientes virtuais imersivos, aliados a sensores de movimento, promovem melhorias significativas na recuperação de funções motoras em pacientes que sofreram AVC [47].

Para além dos benefícios clínicos, destaca-se ainda o impacto psicológico da imersão proporcionada pela realidade virtual. A sensação de presença e a plausibilidade dos ambientes virtuais, conforme discutido por [48], têm influência positiva sobre o engajamento dos pacientes, potencializando os efeitos terapêuticos da intervenção.

Diante desse panorama, torna-se evidente que a Realidade Virtual não se limita a ser uma tecnologia de entretenimento, mas representa uma ferramenta robusta e cada vez mais consolidada no campo da saúde, com aplicações que vão desde o tratamento de transtornos psicológicos até a reabilitação física e cognitiva de pacientes acometidos por condições neurológicas, como o AVC.

2.4 JOGOS SÉRIOS

Jogos sérios são definidos como intervenções interativas que combinam elementos lúdicos a objetivos práticos, como reabilitação clínica ou treinamento cognitivo, priorizando resultados mensuráveis e baseados em evidências [49]. Diferentemente do *edutainment*⁴, que visa entretenimento com fins educativos genéricos, os jogos sérios exigem rigor metodológico e alinhamento a protocolos validados [50]. Essa distinção é importante em contextos terapêuticos, nos quais a eficácia não depende apenas do engajamento, mas também da capacidade de promover progresso funcional.

O jogo proposto neste trabalho enquadra-se como jogo sério, pois integra elementos do *edutainment*, como narrativas imersivas e recompensas visuais, a uma estrutura terapêutica baseada na metodologia DLOTCA (Seção 2.2). Essa combinação visa evitar o risco de priorizar o “divertimento” em detrimento da eficácia, atendendo aos sete requisitos fundamentais para tarefas de reabilitação propostos por Rizzo *et al.* [29], descritos na Tabela 2.1.

³Refere-se à capacidade do sistema nervoso central de modificar sua estrutura e funcionamento em resposta a estímulos internos ou externos, como lesões, aprendizagens ou intervenções terapêuticas.

⁴Termo derivado da junção das palavras em inglês *education* (educação) e *entertainment* (entretenimento).

Tabela 2.1: Requisitos de reabilitação para jogos sérios, com base em Rizzo *et al.* [29]

Requisito	Descrição do requisito
Base clínica	Fundamentado em avaliação baseada em dados, para especificar com precisão a habilidade ou atividade-alvo a ser reabilitada.
Adaptável	Ajustável do nível inicial, que o usuário já consegue realizar, até o nível de desempenho final desejado.
Repetição hierárquica	Capaz de administrar a tarefa de forma repetitiva e em níveis de complexidade crescente.
Mensurável	Quantificável, permitindo mensurar desempenho e progresso ao longo do tempo.
<i>Feedback</i> estratégico	Fornecer ao usuário retorno específico sobre o resultado da performance, orientando melhorias.
Relevância funcional	Relacionado a atividades funcionais do mundo real, garantindo transferência dos ganhos.
Motivação	Projeta mecanismos que mantêm o engajamento e a interação do usuário com a tarefa.

A operacionalização desses requisitos no ARCo-VR é alcançada por meio de um ciclo contínuo de avaliação e intervenção. A fundamentação na DLOTCA estabelece a base clínica do sistema, que ajusta dinamicamente as pistas e orientações de suporte mediacional conforme o desempenho individual do paciente (adaptável). Para garantir a progressão terapêutica, o jogo administra a tarefa em níveis de dificuldade crescente (repetição hierárquica), enquanto fornece orientação imediata ao paciente através de *feedback* multimodal alinhado aos critérios de mediação (*feedback* estratégico). Em termos de engajamento, a simulação de cenários domésticos e tarefas de vida diária garante a relevância funcional, potencializada pela motivação gerada pela gamificação e imersão da RV. Por fim, o sistema assegura o registro automático e quantitativo de métricas, como tempo, acertos e nível de mediação, concretizando o requisito mensurável.

A viabilidade dessa abordagem é ilustrada por sistemas como o “VRKitchen” [51], que treina habilidades cognitivo-motoras em cozinhas virtuais com tarefas sequenciais, e pelo jogo de [52], focado na prevenção de lesões por esforço repetitivo por meio de exercícios interativos com captura 3D de movimentos das mãos. Essas mecânicas são respaldadas por evidências de que jogos bem estruturados melhoram a cognição, aumentam a resiliência diante do fracasso e regulam o humor [53]. Assim, esses exemplos demonstram como jogos sérios em realidade virtual podem oferecer protocolos personalizados, adaptativos e clinicamente embasados, superando as limitações dos métodos tradicionais.

2.5 ENGAJAMENTO DO JOGADOR

O engajamento do jogador é um elemento central no desenvolvimento de qualquer jogo, pois ele sustenta a continuidade da interação e garante o envolvimento necessário para que o jogador seja capaz de experimentar as mecânicas e os objetivos propostos. Recursos de *design* voltados à manutenção da atenção, como *feedback* imediato, recompensas graduais e progressão visual clara, atuam diretamente na formação da motivação, que é a base para que o jogador permaneça envolvido mesmo diante de desafios repetitivos ou de elevada complexidade.

Em jogos sérios voltados à reabilitação pós-AVC, essa importância é elevada, uma vez que visa incentivar o paciente a seguir o protocolo de exercícios de maneira contínua. Estudos

mostram que pacientes submetidos a sessões de realidade virtual não apenas toleram melhor o esforço físico, como também relatam menor estresse percebido durante atividades altamente repetitivas. Kim *et al.* [54], por exemplo, observaram esse efeito em pessoas com Parkinson: a imersão em cenários virtuais transformou exercícios de marcha, normalmente cansativos, em experiências mais prazerosas, elevando até mesmo os níveis de excitação após as tarefas. Esse fenômeno, conhecido como “paradoxo do esforço”, em que a carga física permanece mas sua percepção negativa diminui, evidencia o papel do engajamento como um facilitador neuropsicológico no contexto da reabilitação [55].

Contudo, para que esse potencial se realize, a acessibilidade e adaptabilidade são pré-requisitos essenciais, especialmente no contexto pós-AVC. Os pacientes idosos, que representam aproximadamente 75% dos casos de AVC [56], enfrentam certas barreiras em ambientes imersivos, incluindo: dificuldades sensorio-motoras agravadas pela idade, como limitações de amplitude articular, déficits de coordenação bimanual, tontura e fadiga visual [57, 58]; e desafios cognitivos na integração de estímulos multimodais, especialmente em ambientes dinâmicos [59]. Essa dupla carga exige que mecanismos de engajamento sejam recalibrados e adaptados para evitar a exclusão digital.

Diante dessas complexidades, o *design* de jogos sérios para reabilitação pós-AVC deve equilibrar engajamento e acessibilidade. Soluções como ajustes dinâmicos de dificuldade, interfaces modulares e *feedback* sensorial adaptativo surgem como estratégias promissoras para diminuir os problemas apresentados anteriormente sem comprometer a imersão.

2.6 GAME ENGINES

Game engines são ambientes integrados de desenvolvimento que fornecem componentes pré-implementados para criação de jogos, incluindo renderização gráfica, simulação física, gerenciamento de áudio e sistemas de entrada [60]. Elas funcionam como ambientes digitais que abstraem complexidades técnicas, permitindo que desenvolvedores concentrem-se na lógica e *design* do jogo. Conforme ilustrado na Figura 2.4, estas *engines* ocupam a camada intermediária entre o *hardware* e as aplicações, integrando-se a editores de cena e animação, bibliotecas especializadas e APIs (*Application Programming Interfaces*) de plataforma.

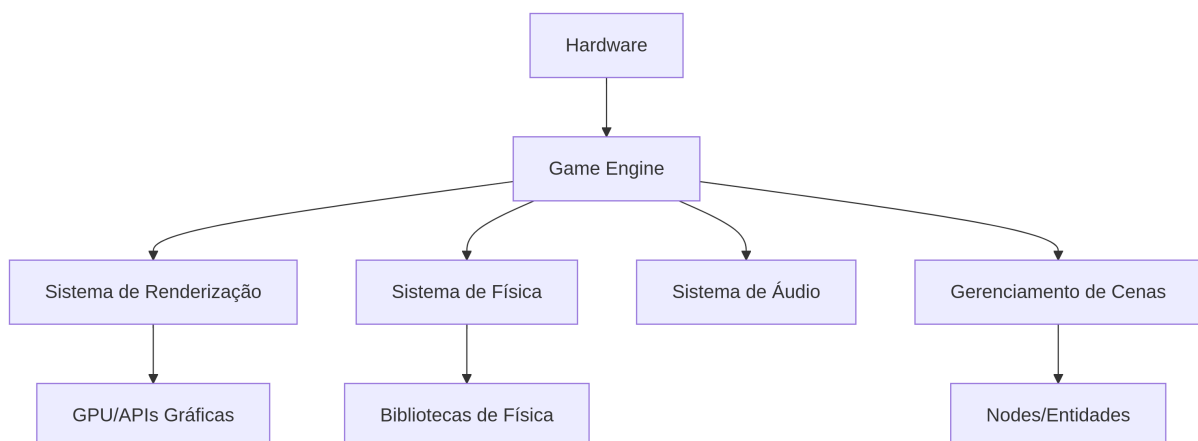


Figura 2.4: Arquitetura de desenvolvimento com Game Engine.

A escolha da Unity como *engine* para este projeto baseou-se em quatro critérios principais. Primeiramente, seu suporte nativo a múltiplas plataformas permite a implantação da aplicação em ambientes clínicos com infraestrutura heterogênea, abrangendo diferentes

dispositivos e sistemas operacionais, de modo a oferecer suporte para mais de 20 plataformas, incluindo dispositivos móveis (iOS/Android), *desktops* e sistemas embarcados [61]. Em segundo lugar, sua maturidade no ecossistema de realidade virtual e aumentada fornece uma estrutura de alto nível para o desenvolvimento. Ainda, a comunidade ativa de desenvolvedores contribui com uma vasta gama de recursos disponíveis na Unity Asset Store. Por fim, a otimização da Unity para dispositivos com menor capacidade de processamento assegura uma execução estável, mesmo em placas gráficas de baixo desempenho.

2.7 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou os fundamentos necessários para compreender a proposta do ARCo-VR, contextualizando tanto os referenciais teóricos quanto as tecnologias utilizadas. Inicialmente, discutiu-se a terapia ocupacional e os desafios enfrentados pelas abordagens tradicionais, destacando a necessidade de estratégias que integrem o treino funcional e estimulação cognitiva em cenários mais adaptados às necessidades dos pacientes.

Em seguida, a metodologia DLOTCA foi apresentada como eixo estrutural da mediação dinâmica adotada no jogo, demonstrando como seus princípios permitem ajustar o nível de suporte conforme o desempenho individual. Essa perspectiva reforça a importância de intervenções personalizadas, centradas no processo de aprendizagem e na modificação progressiva de dificuldade das tarefas.

A discussão sobre realidade virtual evidenciou seu potencial como ferramenta capaz de oferecer ambientes controlados e imersivos, sendo propícia para aplicações clínico-terapêuticas. Ainda, a exploração do conceito de jogos sérios complementou essa análise ao enfatizar que, para além do entretenimento, a estrutura lúdica pode ser organizada em função de objetivos mensuráveis e funcionalmente relevantes.

No âmbito técnico, a apresentação das *game engines* e da escolha da Unity consolidou os aspectos técnicos que sustentam o desenvolvimento do sistema, destacando a importância de ferramentas que conciliem desempenho, acessibilidade e suporte à realidade virtual.

Assim, os elementos discutidos ao longo do capítulo formam a base conceitual e tecnológica que fundamenta o ARCo-VR. Nos próximos capítulos, esses referenciais serão traduzidos em decisões de projeto e implementações práticas que compõem a arquitetura e o funcionamento do jogo proposto.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Este capítulo analisa sistemas de reabilitação baseados em realidade virtual (RV) e jogos sérios para pacientes pós-AVC, com ênfase em soluções que integram avaliação cognitiva, treino funcional e engajamento. A revisão destaca dois eixos principais: (i) plataformas de RV com comprovação clínica para reabilitação motora e cognitiva, e (ii) avanços recentes no uso de RV para déficits cognitivos pós-AVC. Ao final, discute-se como o presente trabalho se diferencia da literatura em certos aspectos.

Primeiramente, dentre as soluções tecnológicas validadas clinicamente, destaca-se o RehabMaster, proposto por Shin *et al.* [62]. Esta plataforma de reabilitação baseada em sensores de profundidade foi desenvolvida para terapias de membros superiores em pacientes pós-AVC, veja a Figura 3.1. O sistema combina jogos sérios com simulações de atividades funcionais estruturadas em dois módulos principais:

- Treino orientado a objetivos, que inclui 40 movimentos guiados por um avatar (por exemplo, exercícios de alcance, rotação de ombro e preensão virtual);
- Jogos terapêuticos contextualizados, como Underwater Fire (focado em coordenação olho-mão) e Goalkeeper (voltado ao controle motor fino), ambos com níveis de dificuldade ajustáveis em tempo real pelo terapeuta.

Os resultados dos ensaios clínicos revelaram melhoras significativas após a intervenção, por meio de métricas que medem a função motora (Fugl-Meyer Assessment) e a independência em atividades da vida diária (Modified Barthel Index). Adicionalmente, o estudo reportou elevado engajamento dos usuários, atribuído à “experiência de flow” gerada pela imersão nos cenários lúdicos, fator este que contribuiu para uma taxa de desistência próxima a zero e adesão terapêutica superior à observada em métodos convencionais.

Essa proposta reflete diretamente os fundamentos abordados no capítulo anterior, pois, ao permitir o ajuste manual da dificuldade das tarefas pelo terapeuta, o RehabMaster incorpora princípios das mediações hierárquicas de suporte cognitivo discutidas na Seção 2.2. Além disso, ao associar essas tarefas a contextos próximos das atividades de vida diária (AVDs), o sistema favorece a transferência funcional, conforme discutido na Seção 2.1.

Ademais, a revisão de Zhang *et al.* [58] sintetiza evidências sobre a aplicação de RV em comprometimento cognitivo pós-AVC. Os autores destacam o potencial de cenários imersivos baseados em AVDs para reabilitação de funções executivas, memória e orientação espacial. Dentre as soluções analisadas, sobressaem ambientes como o Reh@City, que simula tarefas urbanas complexas (por exemplo, uso de transporte público e gestão de finanças em um contexto de cidade virtual), e o VR Supermarket, focado em planejamento e resolução de problemas durante as compras. Essas plataformas demonstraram eficácia por meio de dois mecanismos centrais: a estimulação multimodal, que combina *feedback* visual e auditivo para potencializar a neuroplasticidade (conforme discutido na Seção 2.3), e a personalização dinâmica, que ajusta progressivamente o nível de dificuldade com base no desempenho do paciente.

Entretanto, os autores também identificaram algumas limitações, como efeitos colaterais nos pacientes, por exemplo tontura e fadiga visual, especialmente entre idosos, grupo mais acometido por comprometimento cognitivo pós-AVC (conforme discutido na Seção 2.5). Além disso, destacam-se os custos elevados de implantação e a heterogeneidade metodológica dos protocolos, que dificultam tanto a comparação entre estudos quanto a replicação clínica.



Figura 3.1: Captura de telas do RehabMaster, retiradas de [62].

Assim, embora essas iniciativas conversem com a discussão da Seção 2.1, pois incorporam contextos funcionais mais próximos do dia a dia do paciente em comparação às terapias tradicionais, ainda apresentam uma separação entre os momentos de avaliação e intervenção. Este aspecto é justamente a lacuna que o presente trabalho busca aprimorar. O ARCo-VR foi concebido para unificar avaliação e intervenção por meio da metodologia DLOTCA, promovendo um ciclo contínuo de avaliação, mediação (ajuste de suporte) e reforço durante a própria execução da tarefa.

Complementando as abordagens anteriores, o trabalho de Barbosa *et al.* [63] apresenta o AeroVR, um jogo sério em RV desenvolvido para a reabilitação de hemianopsia pós-AVC (condição caracterizada pela perda parcial do campo visual). Diferentemente dos sistemas analisados até aqui, que focam em funções motoras ou cognitivas gerais, o AeroVR aborda um déficit sensorial específico, combinando princípios de compensação visual com engajamento lúdico. No jogo, o paciente controla um avião de papel em um ambiente virtual, desviando de obstáculos e identificando placas numeradas que surgem em regiões periféricas do campo visual (Figura 3.2). Para garantir a personalização, o terapeuta pode ajustar parâmetros como a posição

das placas, a duração da sessão e a densidade de obstáculos, de modo a adequar o desafio ao estágio de reabilitação de cada paciente. Além disso, um sistema de *feedback* contínuo registra dados de desempenho, como número de acertos e colisões, que são exibidos em um modo de reprodução posterior à sessão, permitindo ao profissional analisar o desempenho do paciente e tomar decisões sobre o progresso e as intervenções subsequentes.

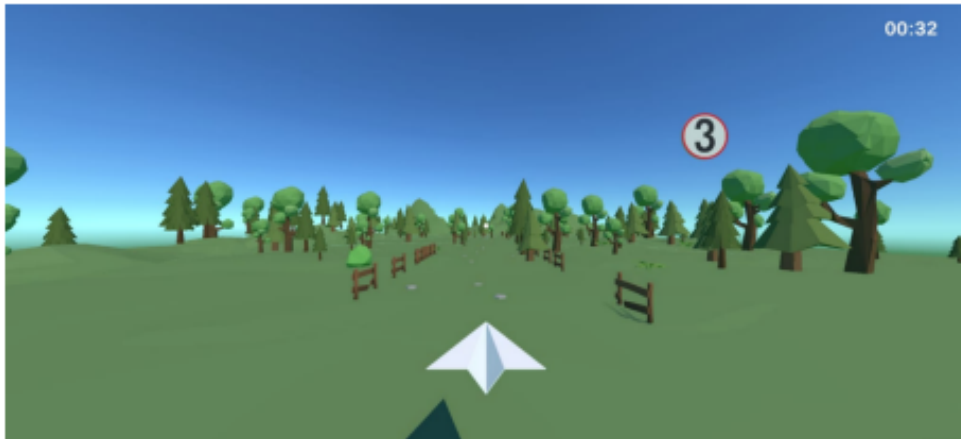


Figura 3.2: Captura de tela do AeroVR, retirada de [63].

A Tabela 3.1 apresenta o comparativo dos trabalhos analisados em relação aos aspectos do ARCo-VR. Observa-se que o RehabMaster e o Aero-VR avançam, respectivamente, nas frentes motora e visual por meio de cenários gamificados. No entanto, ambos operam com parâmetros pré-definidos, exigindo que o terapeuta ajuste manualmente o nível de dificuldade entre as sessões, em vez de realizar essa adaptação de forma contínua durante a tarefa. Em contraste, o ARCo-VR distingue-se por focar na reabilitação cognitiva, integrando a metodologia DLOTCA e oferecendo uma mediação dinâmica e automática que se ajusta em tempo real ao desempenho do paciente, unificando os processos de avaliação e intervenção.

Tabela 3.1: Comparativo entre sistemas de reabilitação pós-AVC baseados em realidade virtual.

Característica	RehabMaster	AeroVR	ARCo-VR
Foco Terapêutico	Reabilitação motora.	Reabilitação para compensação de campo visual.	Reabilitação cognitiva.
Metodologia de Base	Treinamento repetitivo específico.	Treinamento de compensação visual.	DLOTCA.
Intervenção	O terapeuta ajusta manualmente a dificuldade da tarefa.	O terapeuta ajusta manualmente a dificuldade da tarefa.	Ocorre em tempo real baseada no desempenho do paciente.
Tecnologia	Sistema baseado em sensores de profundidade (OpenNI).	Óculos de realidade virtual + Google Cardboard.	Óculos de realidade virtual.

Assim, este capítulo apresentou um panorama das principais soluções em realidade virtual e jogos sérios aplicadas à reabilitação pós-AVC, evidenciando seus avanços na motivação e no engajamento, mas também limitações relacionadas à personalização contínua e à separação entre avaliação e intervenção. Ao analisar sistemas como o RehabMaster, plataformas de

reabilitação cognitiva imersiva e o AeroVR, observou-se que, embora abordem domínios distintos (motor, cognitivo ou sensorial), todos dependem do ajuste manual da dificuldade pelo terapeuta e não integram mecanismos de intervenção (mediação) durante a execução da tarefa. É justamente essa lacuna que orienta a concepção do ARCo-VR, cujo diferencial está na unificação entre avaliação e intervenção por meio da metodologia DLOTCA, permitindo a adaptação do nível de suporte em tempo real. No capítulo seguinte, descrevem-se as decisões de projeto e a arquitetura do sistema que operacionalizam essa proposta.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Este capítulo descreve o desenvolvimento do ARCo-VR, detalhando o processo de construção do sistema, as decisões de projeto adotadas e a implementação de suas funcionalidades principais. São apresentados o modelo de *software* escolhido, a evolução incremental do sistema, a integração dos princípios da DLOTCA ao ambiente virtual e a estrutura das fases do jogo, incluindo níveis de dificuldade, tipos de objetos e modalidades de *feedback*. Além disso, abordam-se as interfaces do usuário, decisões de *design*, usabilidade e acessibilidade, destacando como cada escolha técnica foi orientada para atender às necessidades clínicas e promover uma experiência terapêutica segura e adaptativa.

4.1 MODELO DE SOFTWARE

Um modelo de processo de *software* é uma representação simplificada do processo de *software*, isto é, das atividades que levam ao desenvolvimento de um produto. Segundo Sommerville [64], todo processo inclui, de forma interdependente, quatro atividades fundamentais: especificação, projeto e implementação, validação e evolução. Essas atividades podem ser organizadas de maneiras distintas (modelo em cascata, incremental, orientado a reuso etc.), e a escolha do modelo deve refletir as características do sistema e do seu domínio.

Para o desenvolvimento do ARCo-VR, adotou-se o modelo incremental em razão de sua flexibilidade, da possibilidade de entregar valor funcional de forma antecipada e do melhor controle sobre mudanças de requisitos. Essa abordagem permitiu realizar testes com terapeutas ocupacionais desde as primeiras versões, validando premissas clínicas, como a introdução da DLOTCA no jogo, e ajustando o sistema às limitações reais dos pacientes. Além disso, possibilitou rápida adaptação às variações nas demandas clínicas e a priorização de entregas parciais já aptas para avaliação.

4.2 EVOLUÇÃO INCREMENTAL

A opção pelo modelo incremental resultou em três versões do sistema, cada uma exercendo tanto o papel de incremento funcional quanto de instrumento de validação com a equipe clínica:

- Versão 0 (protótipo inicial)
Essa versão incluía um tutorial, o conjunto inicial de fases (1.1 a 1.4) e os primeiros protótipos dos mecanismos centrais: (i) introdução da DLOTCA no contexto do jogo; (ii) lógica evolutiva das fases; (iii) sistema de classes de objetos coletáveis; e (iv) o sistema de tapetes de teleporte, abordado na Seção 4.7;
- Versão 1
Foram implementados os três conjuntos de fases (iniciais, intermediárias e avançadas), todos os cenários planejados, a interface do terapeuta, o sistema de perfis de pacientes (incluindo registro individual, configurações e personalizações), além de um sistema de registro de atividades (*logging*) para acompanhamento do desempenho do paciente ao longo das sessões;

- Versão 2

Esta é a versão final, na qual foram incorporados novos modos de jogo, voltados à variação das dinâmicas terapêuticas e ao controle da dificuldade, além de interfaces de usuário com foco na usabilidade do paciente. As alterações e decisões de *design* associadas são detalhadas na Seção 4.7.

A adoção do modelo incremental trouxe vantagens práticas (menor custo para mudanças, *feedback* antecipado e entregas já funcionais), exatamente alinhadas às necessidades clínicas do projeto. Entretanto, o modelo também apresenta riscos conhecidos, como a visibilidade reduzida do progresso e a possível degradação da arquitetura. Para mitigar esses riscos, adotou-se medidas como: documentação básica de arquitetura entre incrementos, controle de versão e atividades de refatoração planejadas após cada incremento significativo.

4.3 INTEGRAÇÃO DA DLOTCA AO JOGO

A partir da fundamentação teórica da DLOTCA apresentada na Seção 2.2, esta seção descreve o modo como seus princípios foram incorporados ao ARCo-VR. O objetivo é evidenciar como os conceitos clínicos foram traduzidos em decisões de *design* e em recursos práticos de suporte ao terapeuta e ao paciente, de forma a preservar a coerência metodológica da avaliação dentro do ambiente virtual.

O elemento central dessa integração é um sistema hierárquico de mediação cognitiva, que adapta o nível de apoio conforme o desempenho do paciente (Tabela 4.1). A lógica de funcionamento é simples: o jogo monitora a ocorrência de erros consecutivos e, a cada falha, decide se deve intensificar o suporte. Acertos, por sua vez, reiniciam o contador, retornando o jogador à condição inicial. Esse ciclo reproduz o caráter adaptativo da DLOTCA, promovendo desafios progressivos sem deixar o paciente desamparado diante de dificuldades.

Tabela 4.1: Níveis de intervenção e *feedback* no jogo.

Nível	Critério de ativação	Intervenção	Exemplo de <i>feedback</i>
I (Suporte mínimo)	1 erro	Mensagens encorajadoras	“Preste atenção, não se preocupe.”
II (Suporte direcionado)	2 erros	Perguntas abertas para estimular reflexão	“É isso mesmo? O objeto que está procurando é pequeno ou grande? Qual a cor dele?”
III (Correção sutil)	3–4 erros	Indicação sutil de erro	“Este não é o objeto correto, ele não está na lista!”
IV (Sugestão de localização)	5 erros	Dicas sobre localização	“Preste atenção no som que irá tocar!” somado a efeito sonoro que direciona ao objeto correto.
V (Redução das demandas)	≥ 6 erros	Simplificação da tarefa	Instanciar seta amarela flutuante indicando a posição.

Na prática, os *feedbacks* surgem como balões de texto projetados à frente do paciente, acompanhando o movimento da cabeça e desaparecendo após alguns segundos. Esse recurso

garante que a orientação esteja sempre visível, sem comprometer a imersão no ambiente virtual. Para ilustrar o funcionamento, disponibilizou-se na Figura 4.1 capturas de tela de uma sessão-teste, mostrando a sequência dos diferentes tipos de mediação em perspectiva do paciente.

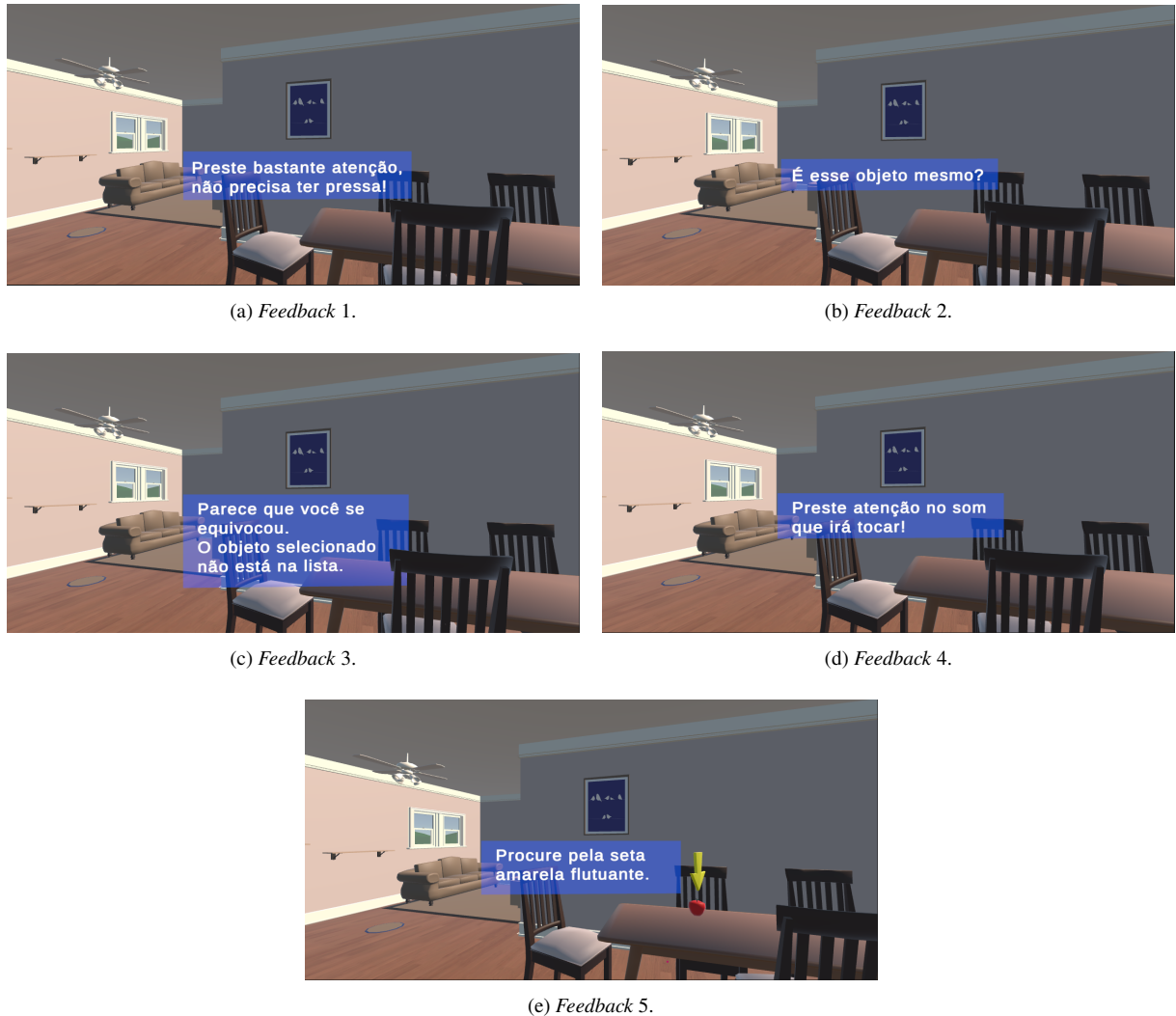


Figura 4.1: Exemplos de *feedbacks* gerados pelo sistema de mediação.

4.4 FASES, PROGRESSÃO E CONFIGURAÇÃO DAS TAREFAS

O jogo foi dividido em fases para promover uma progressão gradual dos desafios, respeitando os princípios de mediação da DLOTCA. Essa estrutura permite que o paciente aprenda primeiro os controles básicos, avance para cenários com maior complexidade e, posteriormente, enfrente variações que estimulam habilidades cognitivas.

Em cada fase, o paciente é inserido em um ambiente virtual com diversos objetos ao redor. Seu objetivo é identificar e coletar apenas os itens que aparecem em uma lista apresentada no início da fase. A cada novo cenário, aumenta-se a complexidade espacial do ambiente, o número de estímulos e os elementos de distração, para desafiar diferentes habilidades cognitivas, como reconhecimento visual, associação semântica entre nomes e objetos, e planejamento para execução da tarefa.

4.4.1 Tutorial

Esta fase foi implementada com o propósito de familiarizar o paciente com os comandos e com a lógica geral da atividade. Nela, o jogador aprende a selecionar objetos, a visualizar e interpretar a lista de itens a serem coletados, e reconhecer como as intervenções de mediação aparecem em tela. Dessa forma, essa etapa reduz a interferência de fatores motores ou de adaptação à RV, assegurando que as dificuldades observadas nas fases seguintes reflitam apenas demandas cognitivas, e não desconhecimento da interface.

4.4.2 Níveis de Dificuldade

Além do tutorial, o jogo se organiza em 12 fases distribuídas em três grupos de dificuldade, cada qual associado a um cenário específico:

- Grupo 1 – Iniciante (fases 1.1–1.4): cenários contidos em um único cômodo em que a busca requer um deslocamento mínimo, ideal para primeiras sessões (Figura 4.2(a));
- Grupo 2 – Intermediário (fases 2.1–2.4): ambientes com dois cômodos adjacentes, sem obstrução visual entre eles, estimulando a exploração e percepção espacial ampliada (Figura 4.2(b));
- Grupo 3 – Avançado (fases 3.1–3.4): cenários com divisão de cômodos e maior necessidade de deslocamento e estratégia de busca (Figura 4.2(c)).

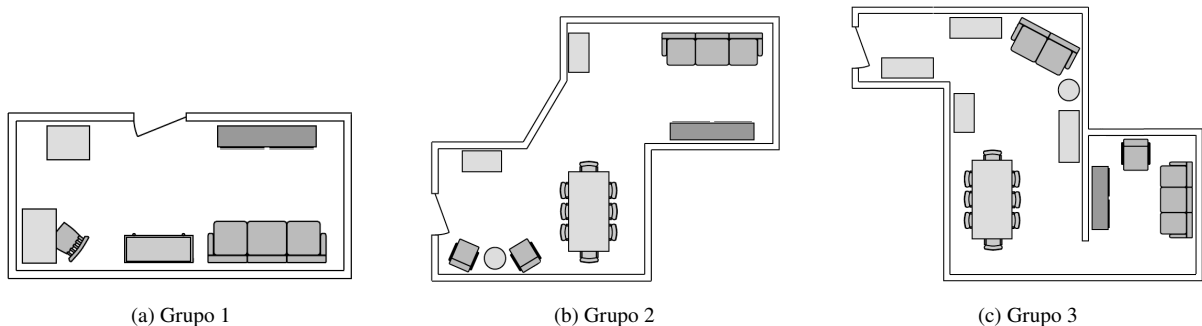


Figura 4.2: Plantas-base dos grupos de fases.

A progressão entre e dentro dos grupos considera três aspectos principais: (i) a complexidade cognitiva dos objetos presentes; (ii) a proporção entre itens-alvo e objetos de distração no ambiente; e (iii) os tipos de *feedback* disponíveis (visual, háptico ¹ ou ambos). Esses critérios permitem transitar suavemente do foco em reconhecimento imediato ao foco em discriminação interpretativa e planejamento.

4.4.3 Classes de objetos e tipos de feedback

O conjunto de objetos do jogo reúne 95 variações distribuídas em 25 classes, categorizadas em fáceis, médios e avançados. Por exemplo, frutas foram consideradas objetos fáceis, raquetes de esportes foram classificadas como objetos médios, e quadros como avançados, já

¹O termo háptico refere-se a estímulos ou respostas relacionadas ao tato, como vibrações, pressões ou forças aplicadas para reproduzir sensações táteis em interfaces digitais.

que a diferenciação entre os tipos de quadros não é apenas com base no seu formato ou cor, mas também pelo conteúdo da imagem.

Quanto ao suporte sensorial, os objetos fáceis fornecem *feedback* visual (mudança de cor ao ser apontado) e háptico (vibração do controle). Objetos médios e avançados oferecem apenas *feedback* háptico, elevando a carga perceptiva e exigindo maior discriminação por parte do paciente. A Tabela 4.2 resume a organização das fases, indicando cenário, composição de objetos, tipo de *feedback* e nível de dificuldade.

Tabela 4.2: Esquema de fases do jogo.

Fases	Cenário	Objetos (na lista / total)	Feedback	Dificuldade
1.1	Sala 1	3 fáceis / 6	Visual + Háptico	Fácil
1.2	Sala 1	5 fáceis / 9	Visual + Háptico	Fácil
1.3	Sala 1	4 fáceis + 2 médios / 12	Visual + Háptico	Fácil
1.4	Sala 1	3 fáceis + 4 médios / 15	Visual + Háptico	Fácil → Médio
2.1	Sala 2	2 fáceis + 5 médios / 15	Visual + Háptico	Médio
2.2	Sala 2	1 fácil + 6 médios / 17	Visual + Háptico	Médio
2.3	Sala 2	8 médios / 19	Visual + Háptico	Médio
2.4	Sala 2	6 médios + 3 avançados / 21	Visual + Háptico	Médio → Avançado
3.1	Sala 3	4 médios + 5 avançados / 21	Háptico	Avançado
3.2	Sala 3	5 médios + 5 avançados / 23	Háptico	Avançado
3.3	Sala 3	6 médios + 5 avançados / 25	Háptico	Avançado
3.4	Sala 3	7 médios + 5 avançados / 27	Háptico	Avançado

4.5 PARAMETRIZAÇÃO DAS FASES E MODOS DE JOGO

Com o intuito de ampliar a variabilidade das sessões e adaptar o nível de desafio às necessidades de cada usuário, cada fase pode ser configurada com diferentes modos de jogo. Esses modos acrescentam camadas de exigência cognitiva sem alterar o objetivo principal: coletar os objetos corretos. São eles:

- Normal: modo padrão, no qual o jogador coleta os objetos livremente, sem restrições de tempo ou penalidades;
- Cronometrado: a coleta deve ser concluída em um tempo limite, incentivando agilidade, foco e planejamento;
- Limite de erros: há um número máximo de seleções incorretas permitidas, promovendo atenção sustentada e autocorreção.

Para o modo cronometrado, definiu-se um tempo médio por objeto a ser coletado, multiplicado por um fator de tolerância que considera variações individuais no ritmo de execução e o tempo de locomoção no cenário. Assim, o tempo total disponível em cada fase é dado por:

$$T_{\text{fase}} = N_{\text{obj}} \cdot t_{\text{médio}} \cdot f_{\text{tol}} , \quad (4.1)$$

em que N_{obj} representa o número de objetos da lista, $t_{\text{médio}}$ é o tempo médio estimado por objeto e f_{tol} é o fator de tolerância aplicado para ajustar diferenças individuais de desempenho. Os valores adotados para cada parâmetro estão dispostos na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Parâmetros do modo Cronometrado.

Fase	N _{obj}	t _{médio} (s)	f _{tol}	T _{fase} (s)
1.1	3	25	1,3	98
1.2	5	25	1,3	163
1.3	6	25	1,3	195
1.4	7	25	1,3	228
2.1	7	20	1,2	168
2.2	7	20	1,2	168
2.3	8	20	1,2	192
2.4	9	20	1,2	216
3.1	9	15	1,1	149
3.2	10	15	1,1	165
3.3	11	15	1,1	182
3.4	12	15	1,1	198

No modo com limite de erros, a estratégia adotada foi estabelecer que o jogador deve obter, no mínimo, 70% de acerto em suas ações. Assim, é permitido errar até 30% dos objetos presentes no cenário, considerando tanto os itens da lista quanto os objetos extras. A Tabela 4.4 apresenta o cálculo correspondente a cada fase.

Tabela 4.4: Parâmetros do modo Limite de Erros.

Fase	Total de objetos	Erros permitidos
1.1	6	2
1.2	9	3
1.3	12	4
1.4	15	5
2.1	15	5
2.2	17	6
2.3	19	6
2.4	21	7
3.1	21	7
3.2	23	7
3.3	25	8
3.4	27	9

4.6 INTERFACE DO USUÁRIO

Em ambientes de realidade virtual, a Interface do Usuário (IU) assume funções distintas das interfaces 2D tradicionais, pois além de exibir informações, ela deve garantir legibilidade espacial, facilitar ações gestuais e preservar a presença imersiva do usuário. Interfaces em RV costumam ser projetadas como painéis flutuantes ou elementos integrados ao próprio ambiente, por exemplo, objetos informativos. No ARCo-VR, optou-se pela implementação de IU na forma de painéis flutuantes que podem, por vezes, acompanhar o movimento da cabeça do paciente, para que sempre esteja em seu campo de visão.

4.6.1 Interface do terapeuta

A interface do terapeuta foi desenvolvida para permitir o gerenciamento dos perfis dos pacientes e a configuração das opções de movimentações. Ela é composta por uma lista de todos os perfis cadastrados, que pode ser filtrada pelo nome do paciente (Figura 4.3).



Figura 4.3: Interface do terapeuta.

Ao selecionar a opção de “Criar Perfil”, um formulário é exibido para que o terapeuta preencha o nome do paciente e defina as opções de movimentação (por *joystick*² e/ou por teleporte) (Figura 4.4), que serão abordadas na Seção 4.7.

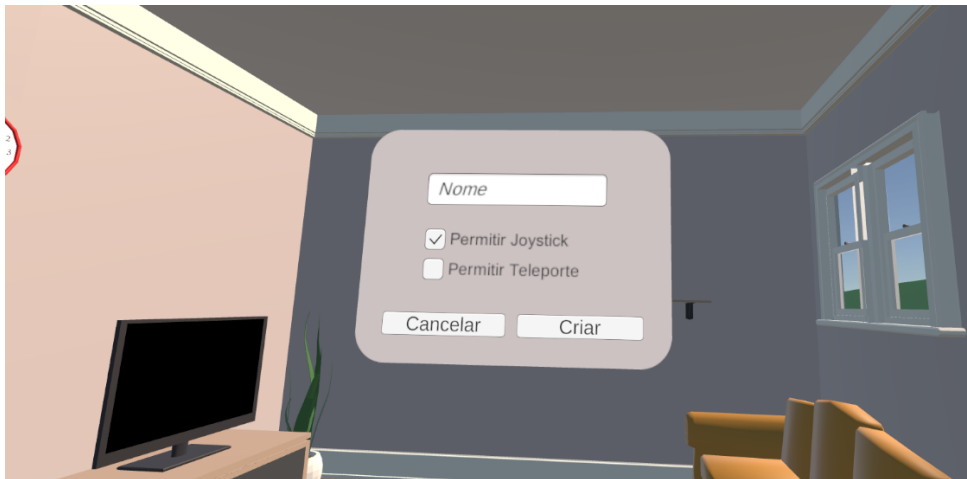


Figura 4.4: Modal para criação de novo perfil de paciente.

Para cada perfil existente, o terapeuta pode editar os dados ou excluí-lo. Ao selecionar um perfil, é aberto um modal contendo uma visão geral de informações referente ao paciente, tais como: nome do paciente, data da última sessão, total de sessões realizadas, tempo médio por sessão e taxa de ações corretas, que corresponde à proporção de objetos coletados que estavam na lista, em relação ao total de interações de coleta (Figura 4.5). No canto superior direito deste mesmo modal, encontra-se o botão “Jogar” que, ao ser selecionado, redireciona o usuário para o menu principal do jogo (Figura 4.6).

²O termo *joystick* refere-se ao dispositivo analógico utilizado em controles de jogos, responsável por permitir a locomoção contínua do usuário no ambiente virtual.

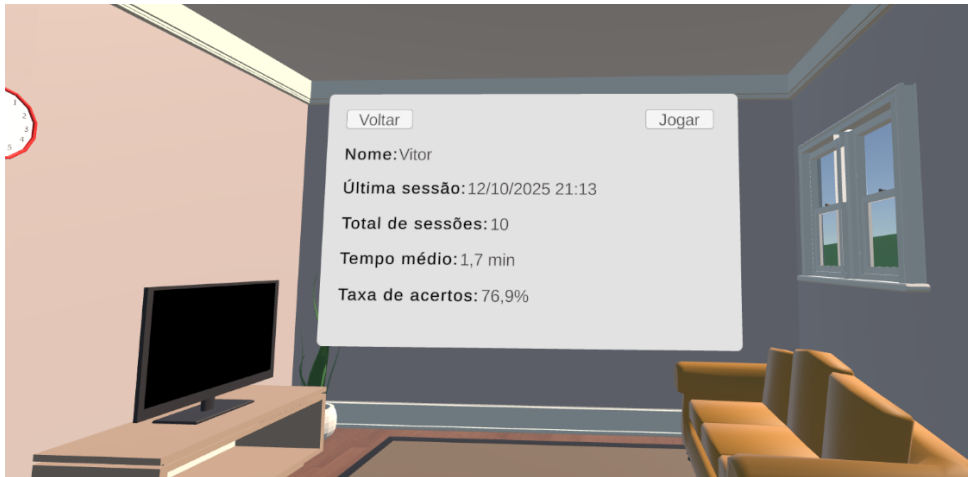


Figura 4.5: Visão geral do desempenho do paciente.

Essas funcionalidades permitem que o terapeuta adapte a experiência do jogo às necessidades individuais de cada paciente, configurando as opções de movimentação e acompanhando o progresso ao longo das sessões.

4.6.2 Interfaces do paciente

A interface do paciente agrega os elementos visuais com os quais o usuário atua durante a sessão. A partir do Menu Principal o paciente seleciona o modo de jogo, o nível de dificuldade e a fase a ser iniciada (Figura 4.6).

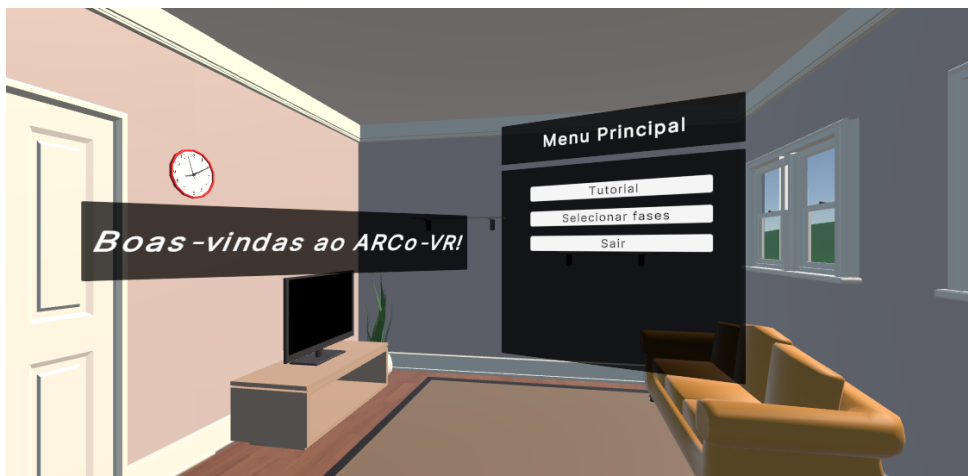


Figura 4.6: Tela de menu principal.

No início de cada fase, o paciente é inserido no cenário para ficar de frente para a IU que contém a lista de objetos que devem ser coletados (Figura 4.7). A lista exibe apenas 6 itens. Essa configuração visa evitar uma sobrecarga visual nas fases mais avançadas, cujo número de objetos aumenta e se torna inviável exibir todos simultaneamente.

Por fim, ao concluir a fase, o sistema exibe um modal de encerramento que oferece opções para o paciente decidir entre avançar para a próxima fase, refazer a atual ou retornar ao Menu Principal (Figura 4.8).



Figura 4.7: Lista de objetos a serem coletados.



Figura 4.8: Modal de encerramento da fase.

4.7 DECISÕES DE DESIGN, USABILIDADE E ACESSIBILIDADE

Motivado pelas discussões da Seção 2.5, algumas escolhas técnicas no desenvolvimento do jogo foram guiadas pela usabilidade e acessibilidade. Um exemplo é a adoção de modelos tridimensionais simplificados (*low poly*), uma opção estética que evita o chamado “Vale da Estranheza” [65]. Ao usar formas simplificadas e estilizadas, o jogo reduz possíveis desconfortos visuais causados por representações excessivamente realistas. A Figura 4.9 ilustra essa diferença, comparando um modelo de árvore estilizado com outro de maior complexidade geométrica.



Figura 4.9: Comparação entre *low poly* (esquerda) e *high poly* (direita), retirado de [66].

Outro exemplo, é a flexibilização em relação ao uso intercambiável do controle esquerdo ou direito. Essa funcionalidade foi pensada considerando que, em casos de pacientes pós-AVC, pode haver comprometimento motor em um dos lados do corpo. Dessa forma, garante-se que a reabilitação virtual continue acessível e funcional, independentemente da lateralidade afetada, promovendo inclusão e continuidade terapêutica.

Além disso, foram desenvolvidas também duas interfaces centradas na experiência do paciente e na simplicidade de uso. A interface de conclusão de fase (Figura 4.8) oferece ao paciente as opções de avançar para a fase seguinte, refazer a fase atual ou retornar ao Menu Principal. A interface de encerramento antecipado (Figura 4.10) permite sair de uma fase antes de concluí-la, sem a necessidade de finalização completa, o que dá mais flexibilidade e autonomia durante a sessão. Essa última funcionalidade apoia-se na heurística de “Controle e Liberdade do Usuário” de Nielsen [67], ao oferecer formas claras e simples para sair de estados indesejados e assim evitar que o paciente fique preso em uma fase.

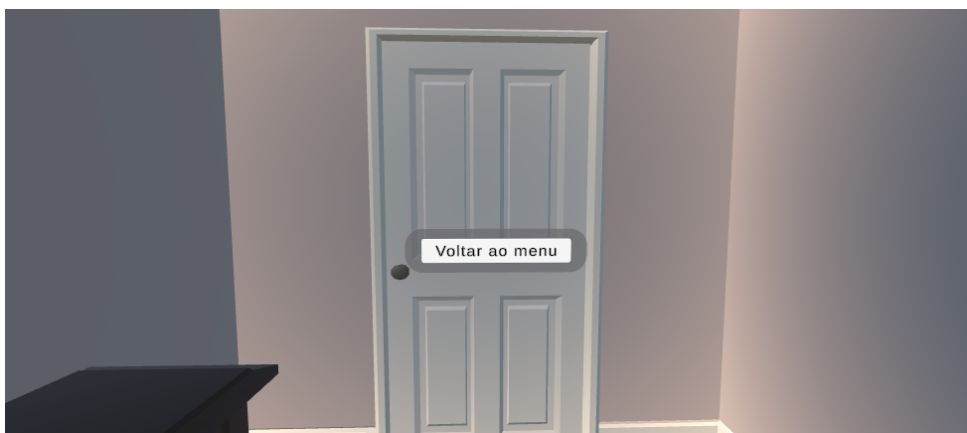


Figura 4.10: Interface de encerramento antecipado da fase.

Além disso, outro ponto central do sistema foi a implementação de diferentes formas de movimentação no cenário virtual, pensado para melhorar a acessibilidade. Quando habilitado, o

sistema de teleporte distribui tapetes circulares pelo cenário, indicados por retângulos vermelhos na Figura 4.11. Assim, ao apontar o controle para um desses tapetes e selecioná-lo, o paciente é instantaneamente transportado para a posição correspondente. Esse recurso foi pensado para facilitar o deslocamento de pessoas com déficits motores ou cognitivos, evitando que a locomoção no ambiente virtual se torne um obstáculo ao foco terapêutico.

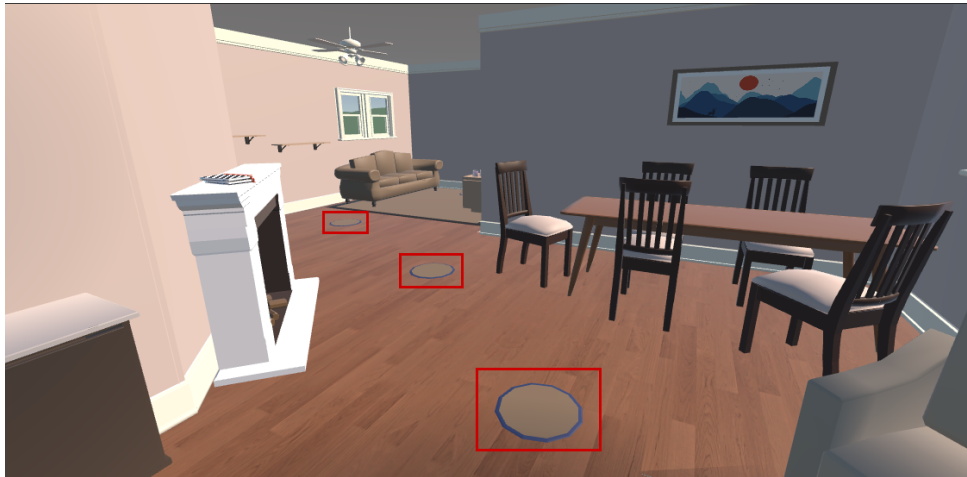


Figura 4.11: Tapetes de teleporte distribuídos pelo cenário.

Também foi implementada uma opção de configuração voltada à mitigação do *cyber sickness*³, considerando que movimentos bruscos de câmera podem causar desconforto em ambientes de realidade virtual. Quando essa configuração está ativada, os graus de liberdade para locomoção do paciente são ajustados de modo que a rotação da visão ocorre exclusivamente por meio do movimento natural do pescoço. Caso a configuração esteja desativada, o paciente pode se mover livremente pelos eixos x e y , além de rotacionar a câmera, utilizando os controles.

Por fim, foram incorporados *feedbacks* visuais e hápticos nas interfaces de usuário. No momento em que o paciente posiciona o controle sobre um botão da IU, o botão muda de cor e o controle vibra levemente. Essa combinação de estímulos visuais e táteis contribui para reforçar a percepção da interação, especialmente útil para aplicações em ambientes de realidade virtual.

Em todos esses casos, as decisões foram fundamentadas no objetivo de adaptar a experiência às condições clínicas dos pacientes, oferecendo alternativas que mantêm a proposta terapêutica do jogo sem comprometer a acessibilidade ou o bem-estar durante a sessão.

4.8 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

Este capítulo descreveu o processo de desenvolvimento do ARCo-VR, ressaltando decisões de projeto, integração clínica e escolhas de usabilidade e acessibilidade. A adoção do modelo incremental mostrou-se adequada ao domínio clínico, pois permitiu entregar funcionalidades funcionais antecipadamente, colher *feedback* de terapeutas e ajustar requisitos antes de consolidar a versão final.

A integração da DLOTCA ao jogo, implementada como um sistema hierárquico de mediação, representa a principal contribuição metodológica do trabalho, pois unifica avaliação e intervenção em um ciclo adaptativo. Os exemplos de *feedback* e os níveis de intervenção

³*Cyber sickness* refere-se a um conjunto de sintomas de desconforto físico, como náusea, tontura e dor de cabeça, que podem ocorrer durante o uso de aplicações de realidade virtual devido a inconsistências entre os estímulos visuais e o sistema vestibular.

demonstraram como princípios clínicos foram traduzidos em recursos digitais no ambiente virtual, preservando a coerência metodológica e permitindo que o terapeuta acompanhe e interprete o avanço do paciente.

Por fim, as decisões de *design* e acessibilidade foram orientadas por requisitos do público-alvo pós-AVC. Opções como teleporte, configuração de locomoção, suporte ambidestro para controles, interfaces minimalistas e uso de modelos *low polly* visam reduzir fontes de desconforto (tontura, fadiga, confusão operacional) sem comprometer os objetivos terapêuticos. Esses recursos aumentam a usabilidade do sistema e potencialmente elevam a adesão dos usuários, ao mesmo tempo em que preservam a validade das tarefas cognitivas propostas.

5 ARQUITETURA DO SISTEMA

Este capítulo apresenta a arquitetura desenvolvida para o ARCo-VR, com o propósito de oferecer uma compreensão de como o sistema se organiza e se comunica internamente. Busca-se fornecer uma visão de alto nível que evidencie os principais componentes, suas responsabilidades e o fluxo de eventos entre eles. Essa visão geral permite compreender o funcionamento global do sistema sem se prender a detalhes de implementação. Os aspectos mais específicos, como descrições detalhadas dos subsistemas, eventos e contratos formais (pré-condições, pós-condições e invariantes), foram deslocados para o Apêndice A, no qual cada parte é analisada individualmente e em maior profundidade.

No que diz respeito às interfaces de usuário, esta seção foca apenas na intenção funcional e nos efeitos esperados das interações, sem entrar em aspectos de renderização, estética ou implementação visual. Para manter consistência terminológica e semântica ao longo do projeto, foram adotadas convenções específicas na nomeação dos eventos, como `START_SESSION` e `PHASE_CONFIGURED`, de modo a refletir de forma direta o estado ou a transição que representam dentro do sistema.

5.1 VISÃO GERAL

A arquitetura do ARCo-VR adota um modelo orientado a eventos centrado em um barramento de mensagens assíncrono denominado *GameEvents*. A vantagem dessa arquitetura é o baixo acoplamento, visto que os subsistemas se comunicam exclusivamente por publicação/assinatura de eventos, sem referências diretas uns aos outros. Esse princípio favorece a manutenibilidade e extensibilidade do sistema, permitindo que módulos sejam atualizados ou substituídos de forma independente, sem impacto na estabilidade global.

No centro dessa estrutura está o componente *TaskManager*, responsável por orquestrar a lógica de execução das tarefas terapêuticas. Ele atua como coordenador transversal, emitindo sinais que sincronizam a operação dos demais subsistemas. Além disso, garante a ordem correta de execução ao aguardar a configuração da fase antes de iniciar o sorteio de objetivos, e centraliza o controle sobre a avaliação das coletas e o encerramento da fase.

De forma geral, o sistema organiza-se como uma coleção de subsistemas funcionais, responsáveis por tarefas como a configuração de fases, o geração de objetos (*spawn*), a mediação e o gerenciamento de perfis. Além disso, esses subsistemas são apoiados por serviços auxiliares, como o de registro de atividades (*log*) e o de transição de cenas.

5.2 ENTIDADES CENTRAIS

As entidades *ObjectClass* e *PhaseConfig* ocupam um papel central na arquitetura e são utilizadas desde os estágios iniciais da execução. Por esse motivo, sua definição é apresentada a seguir, antes da descrição dos subsistemas que as consomem.

5.2.1 *ObjectClass*

A classe *ObjectClass* define uma família de objetos utilizados no ambiente virtual. Ela é marcada como serializável e serve como base para diversos subsistemas, como os de configuração, *spawn* e gerenciamento de tarefas. Seus atributos principais são:

- *name* (string): identificador da classe (exemplo: “fruta”, “iluminária de mesa”, etc);
- *pointLightPrefab* (*Light prefab*, opcional): referência a um *prefab* de luz que pode ser instanciado e parentado ao objeto. Ele está presente nas classes de objetos de dificuldade fácil (*difficultyLevel* == 0) para que quando o paciente aponte o controle para o objeto o *pointLightPrefab* ative e emane uma luz a partir dele;
- *models* (array de *GameObject*): conjunto de variações gráficas que representam instâncias possíveis da classe. Eles são utilizados para diversificar as aparências dos objetos sem alterar comportamento;
- *isCollectible* (boolean): sinaliza se objetos desta classe podem ser coletados (*true*) ou apenas servem como distração (*false*);
- *spawnCategory* (inteiro): rótulo numérico usado pelo subsistema de *spawn* para, por exemplo, instanciar objetos de mesa (*spawnCategory* == 1) apenas em *spawnPoints* posicionados sobre mesas e anteparos;
- *difficultyLevel* (inteiro): valor que indica a dificuldade associada àquela classe de objeto. É utilizado para calibrar probabilidade de aparição nos diferentes níveis de fases.

5.2.2 *PhaseConfig*

A classe *PhaseConfig* representa a configuração de uma fase e fornece os parâmetros necessários para que os subsistemas (como o de *spawn* e o de configuração de objetos) atuem de forma coordenada durante a execução do jogo. Ela é publicada pelo subsistema de gerenciamento de fases e contém os seguintes atributos:

- *sceneName* (string) / *sceneIndex* (int): identificadores da cena que será carregada na fase, usados para localizar e iniciar o ambiente correspondente;
- *targetsObjsByDifficulty* (tupla de inteiros): define quantos objetos-alvo devem ser instanciados por nível de dificuldade (fácil, médio e avançado);
- *extrasObjsByDifficulty* (tupla de inteiros): especifica a quantidade de objetos distratores (não coletáveis) por nível de dificuldade;
- *numRequiredObjects* (int): número mínimo de objetos-alvo que o paciente deve coletar para concluir a fase com sucesso;
- *numTotalObjects* (int): número total de objetos que serão instanciados na fase (alvo + distratores), influenciando a densidade e o desafio da cena;
- *gameMode* (int): código que define o modo de jogo ativo na fase, como livre, treino ou desafio, afetando regras e feedbacks;
- *objectsDifficulty* (int): nível de dificuldade geral da fase, utilizado como parâmetro para balanceamento da composição.

5.3 SUBSISTEMAS E SERVIÇOS

A arquitetura do ARCo-VR é composta por um conjunto de subsistemas e serviços que cooperam por meio de um barramento de eventos assíncrono. Esses componentes são organizados de forma lógica para permitir a execução coordenada de sessões terapêuticas, desde a configuração inicial até o registro dos resultados.

A Figura 5.1 ilustra a topologia do sistema, destacando os módulos centrais, serviços auxiliares e o barramento de eventos que conecta todos os elementos de forma assíncrona.

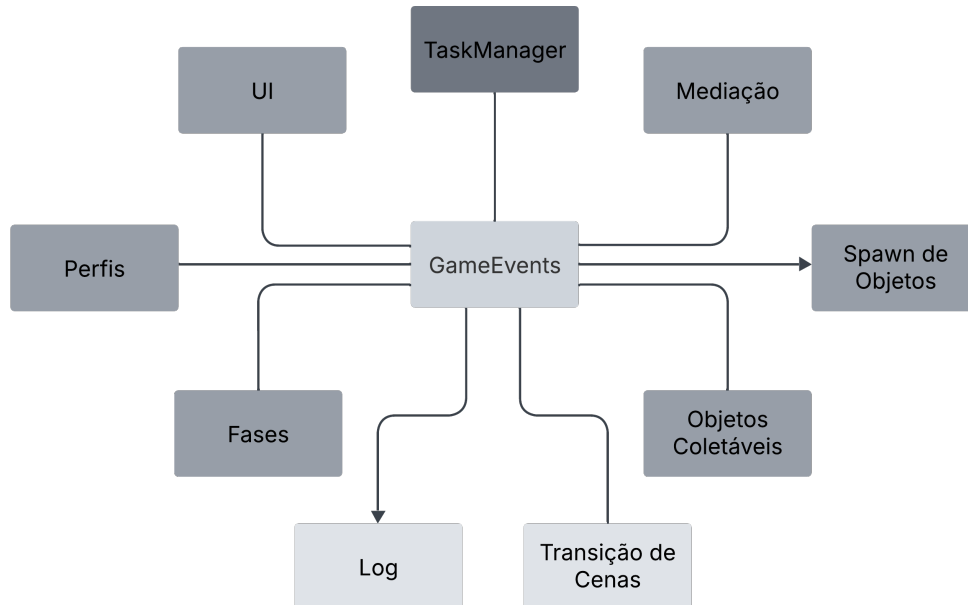


Figura 5.1: Diagrama topológico da arquitetura do ARCo-VR. O barramento *GameEvents* é o responsável por distribuir mensagens entre os subsistemas. Na notação adotada, conexões com setas indicam fluxo unidirecional de eventos, enquanto conexões sem setas representam comunicação bidirecional, utilizada quando subsistemas podem tanto publicar quanto consumir mensagens.

A seguir, são apresentados os principais subsistemas e serviços que compõem essa arquitetura:

- **TaskManager (coordenador central):** Orquestra a sequência de inicialização, supervisiona o fluxo de execução e aplica políticas globais, como reinício de fases, encerramento de sessão e ordenação de eventos. Atua também como ponto de decisão quando múltiplos subsistemas precisam ser sincronizados e seleciona os alvos de coleta e monitora o progresso do paciente durante a sessão. Emite notificações de sucesso ou erro, que alimentam tanto a mediação quanto o registro de resultados.
- **Subsistema de Configuração de Fases:** Responsável por mapear a cena e o modo de jogo para uma estrutura *PhaseConfig*, publicando o evento `PHASE_CONFIGURED` que distribui os parâmetros da fase aos demais subsistemas.
- **Subsistema de Spawn de Objetos:** Define quais classes de objetos serão instanciadas no ambiente virtual, mapeando-as para *spawnPoints* compatíveis e seguindo as políticas de alocação e *fallback* definidas.
- **Subsistema de Configuração de Objetos Coletáveis:** Transforma os prefabs instanciados em objetos interativos, configurando componentes físicos, XR e de *feedback* visual/sonoro, que serão utilizados .

- **Subsistema de Mediação:** Implementa a lógica adaptativa da metodologia DLOTCA, ajustando dinamicamente o nível de suporte fornecido ao paciente e emitindo o evento `MEDIATION_LEVEL_CHANGED` quando necessário.
- **Subsistema de Perfis de Pacientes:** Gerencia a criação, seleção e persistência de perfis, publicando `START_SESSION` para iniciar o ciclo e consumindo eventos de finalização para atualizar histórico e estatísticas.
- **Serviço de Log:** Responsável por registrar eventos significativos da sessão, como acertos, erros, mudanças de nível de mediação e metas de coleta. Cada entrada é marcada com carimbo de data UTC (ISO 8601) e tempo de jogo. Os dados são organizados por perfil de paciente e salvos em dois formatos: um log bruto (.log) e um resumo estruturado (.json) com estatísticas da sessão.
- **Serviço de Transição de Cenas:** Centraliza a lógica de carregamento e declaração de cenas, publicando `SCENE_DECLARED` para acionar a geração da *PhaseConfig* correspondente.

Após apresentar os principais componentes da arquitetura, é possível entender como eles interagem para compor o ciclo principal do sistema. As Figuras 5.2 e 5.3 apresentam diagramas de sequência que descrevem diferentes perspectivas do funcionamento do sistema. O diagrama da primeira figura representa as interações entre o terapeuta e a interface até o início da sessão, enquanto o segundo detalha as trocas internas entre os componentes do sistema após o acionamento inicial.

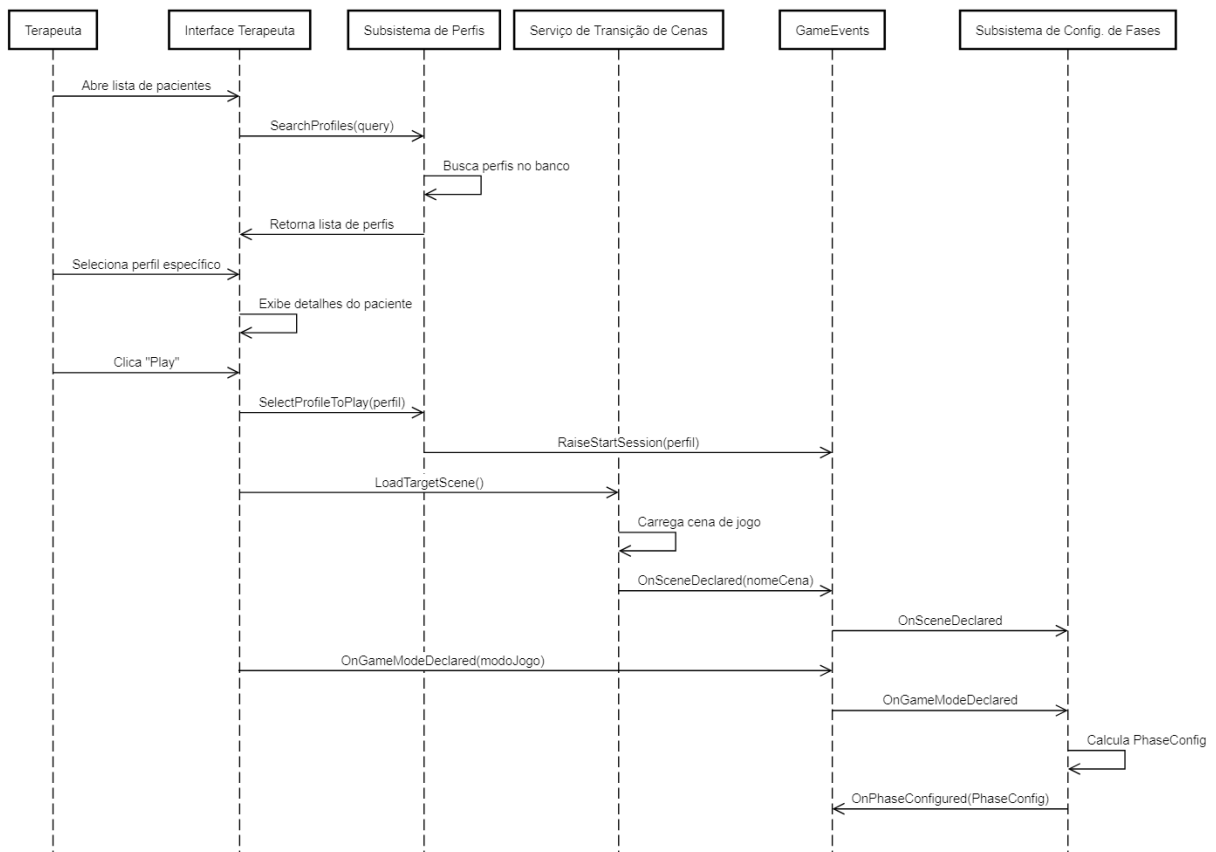


Figura 5.2: Diagrama de sequência de sistema (terapeuta-interface).

No primeiro diagrama (Figura 5.2), o fluxo inicia com o terapeuta acessando a lista de pacientes, acionando uma busca nos perfis cadastrados. Após a seleção de um perfil específico, a interface apresenta os detalhes do paciente. Ao acionar o comando “Play”, o sistema inicia uma cadeia de eventos: registra o início da sessão para o perfil selecionado e dispara o carregamento da cena do Menu Principal. Paralelamente, o sistema aguarda a definição do modo de jogo, que pode ser estabelecido através da interface do usuário. Este processo preparatório finaliza com a geração da configuração específica da fase (*PhaseConfig*), que define os parâmetros operacionais para toda a sessão.

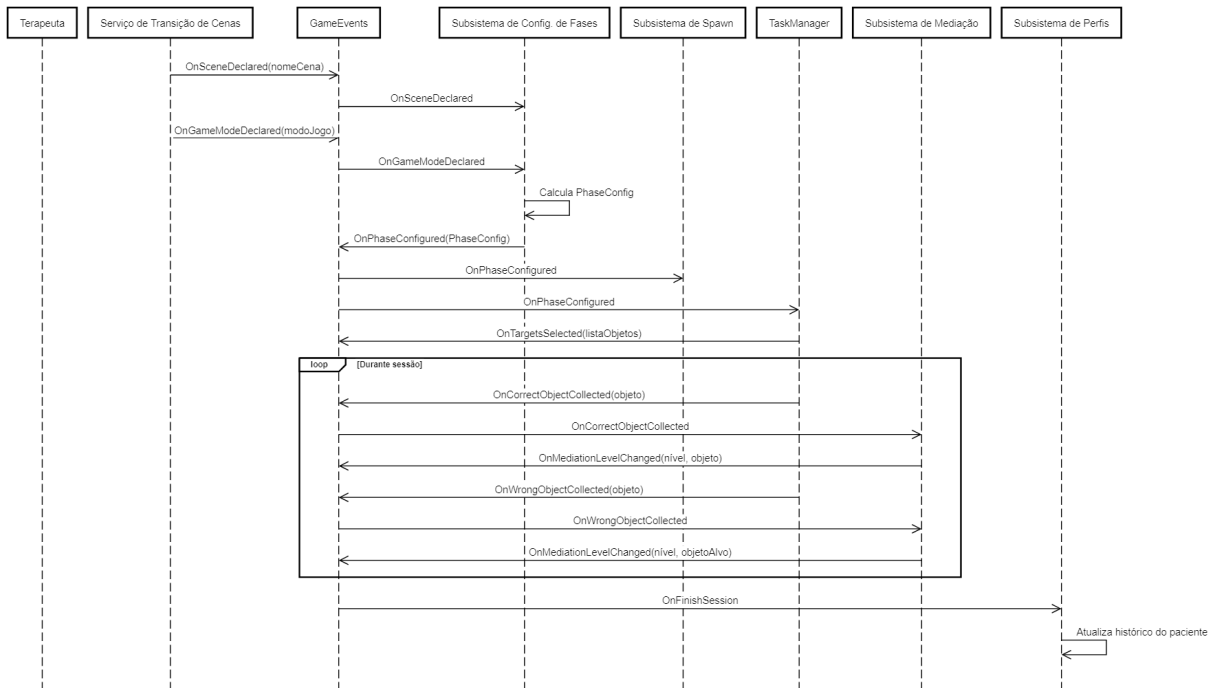


Figura 5.3: Diagrama de sequência de sistema (interface-sistema).

O segundo diagrama (Figura 5.3) descreve o fluxo de operações do sistema após o início da sessão. A partir da configuração da fase recebida, o sistema coordena duas atividades principais: o subsistema de *spawn* inicia a população do ambiente com objetos coletáveis, enquanto o *TaskManager* assume a coordenação da execução. Durante a sessão, o sistema monitora continuamente as interações do paciente, registrando acertos e erros na coleta de objetos. O subsistema de mediação processa esses eventos para ajustar dinamicamente o nível de suporte oferecido, incrementando assistência após erros consecutivos ou reduzindo-a quando o paciente executa corretamente as ações. Este ciclo adaptativo mantém o desafio em nível apropriado até o encerramento da sessão, quando os resultados finais são consolidados no histórico do paciente.

É importante destacar que ambos os diagramas representam visões parciais e simplificadas do fluxo completo do sistema. Para uma compreensão integral de todas as interações e componentes, o Apêndice B apresenta o diagrama de sequência de sistema completo, no qual estes fluxos são unificados e expandidos com todos os detalhes de implementação e as relações entre todos os subsistemas envolvidos.

5.4 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou a organização arquitetural do ARCo-VR, destacando os componentes que estruturam seu funcionamento e o modo como interagem entre si. A opção

por um modelo orientado a eventos, centrado em um barramento assíncrono, permitiu reduzir dependências diretas entre os módulos e favoreceu tanto a manutenção quanto a possibilidade de expansão futura do sistema.

No decorrer do capítulo, foram destacadas duas entidades principais: *ObjectClass* e *PhaseConfig*. A primeira organiza as classes de objetos presentes no ambiente virtual, enquanto a segunda define os parâmetros operacionais da fase. Em conjunto, elas garantem consistência entre configuração, preparação do ambiente e avaliação das interações durante a sessão.

Além disso, os fluxos descritos demonstraram como os subsistemas cooperam ao longo de uma sessão, desde a seleção do paciente e definição da fase, passando pela instanciação dos objetos e pela adaptação dos níveis de mediação, até a consolidação dos resultados ao final do processo. Essa visão operacional reforça o papel de coordenação exercido pelo *TaskManager* e evidencia como o sistema integra suporte clínico, interação em realidade virtual e registro estruturado de dados.

6 VALIDAÇÃO E TESTES

Este capítulo apresenta a validação e os testes realizados no ARCo-VR, destacando os procedimentos adotados para avaliar a funcionalidade, a estabilidade e a usabilidade do sistema. São descritas as metodologias empregadas, os equipamentos utilizados, o planejamento das sessões exploratórias com voluntários e especialistas, e os critérios de avaliação aplicados. Além disso, o capítulo detalha os resultados obtidos e discute as observações relacionadas à experiência do usuário.

6.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

No desenvolvimento de *software*, os testes são uma etapa importante para assegurar a qualidade e a correta funcionalidade do produto final. Para a validação do ARCo-VR, a presença de variáveis aleatórias, como a listagem e o posicionamento dos objetos coletáveis, representou um desafio adicional, pois dificultava a criação prévia de roteiros de teste. Como o cenário se modifica a cada execução, tornou-se necessário adotar uma abordagem centrada na observação do comportamento geral do sistema, verificando não apenas se o resultado final era correto, mas também se a lógica se mantinha consistente frente a diferentes combinações geradas dinamicamente.

Considerando esse contexto, optou-se pela realização de testes exploratórios com a participação de especialistas e usuários voluntários, no papel de pesquisadores desenvolvedores da aplicação. Essa abordagem, conforme descrito por Sommerville [64], permite que o testador interaja livremente com o sistema, sem seguir um roteiro fixo, utilizando seu conhecimento prévio e percepção para descobrir falhas e comportamentos inesperados. Essa forma de avaliação mostrou-se eficaz para compreender aspectos como usabilidade, estabilidade e imersão do sistema em um ambiente de uso próximo ao real.

6.2 PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO

Todos os testes foram conduzidos utilizando o *headset* de realidade virtual Meta Quest 2. As especificações técnicas do dispositivo encontram-se na Tabela 6.1, servindo como referência para contextualizar os requisitos de desempenho do sistema durante os testes.

Durante as sessões, o conteúdo visualizado pelo voluntário no *headset* era espelhado em um monitor externo por meio das ferramentas nativas do dispositivo. Esse espelhamento permitiu acompanhar o progresso em tempo real, orientar o participante quando necessário e registrar observações relacionadas à interação e ao comportamento no ambiente virtual.

Tabela 6.1: Especificações técnicas do *headset* Meta Quest 2.

Característica	Especificação
Modelo	Meta Quest 2
Fabricante	Meta Platforms Inc.
Processador	Qualcomm Snapdragon XR2
Memória RAM	6 GB
Armazenamento interno	128 GB
Resolução por olho	1832 x 1920 pixels
Taxa de atualização	90 Hz
Sistema operacional	Meta Quest OS
Versão do software	79.1034 (compilação: 5171691.14120.150)
Rastreamento	Inside-out com 4 câmeras integradas
Conectividade	Wi-Fi 6, Bluetooth 5.0, USB-C

6.2.1 Protocolo com voluntários

O protocolo de testes exploratórios contou com a participação de 10 voluntários, que atuaram como pesquisadores desenvolvedores da aplicação. O objetivo principal foi a detecção de falhas, a avaliação da estabilidade e a verificação da usabilidade geral do sistema.

Cada participante recebia uma explicação inicial sobre os controles, o objetivo do jogo e o funcionamento da mediação. Em seguida, iniciava-se o tutorial a partir da tela de menu principal (Figura 4.6). Após essa etapa, solicitava-se que o voluntário selecionasse livremente uma fase e, de forma intencional, coletasse objetos incorretos para garantir a ativação dos diferentes níveis de mediação. Para concluir, o participante executava uma fase de cada nível de dificuldade (inicial, intermediário e avançado).

6.2.2 Protocolo com especialistas

Com o objetivo de validar a aplicação em um contexto clínico real e sob uma perspectiva profissional, foram realizados testes adicionais na clínica-escola de Terapia Ocupacional da Universidade Federal do Paraná. O estudo envolveu a participação de 4 terapeutas ocupacionais especialistas no tratamento de reabilitação neurofuncional.

O protocolo aplicado a eles seguiu a mesma estrutura exploratória adotada para os voluntários, focando na interação livre com o sistema para avaliar a funcionalidade e a usabilidade. No entanto, após a exploração do sistema, os especialistas foram convidados a preencher um questionário de avaliação de usabilidade e relevância clínica. Este formulário foi estruturado para capturar a percepção dos profissionais sobre a adequação do ARCo-VR ao ambiente clínico e aos objetivos terapêuticos. As primeiras questões avaliaram aspectos da interface, usabilidade, design e impacto terapêutico por meio de uma escala Likert de concordância, variando de 1 (discordo totalmente) a 5 (concordo totalmente). As últimas questões foram abertas, permitindo aos participantes expressar suas opiniões sobre pontos positivos, áreas de aprimoramento e sugestões específicas para a interface e os comandos do sistema.

6.3 RESULTADOS

Os testes exploratórios com os voluntários permitiram validar diversos aspectos do ARCo-VR. Em termos de funcionalidade e estabilidade, o sistema de *spawn* e distribuição de objetos demonstrou operar conforme o planejado, instanciando objetos de forma aleatória, mas

consistente com as proporções de dificuldade definidas para cada fase (Tabela 4.2). O sistema de mediação também se mostrou estável, com os gatilhos acionados corretamente em todas as situações, especialmente as mediações de nível 4 e 5, que dependem da associação direta com objetos em cena. Adicionalmente, a coleta e o armazenamento dos dados de desempenho de todas as interações relevantes foram verificados com sucesso, permitindo a análise posterior das métricas através do *dashbaord* da terapeuta (Figura 4.5).

Em termos de usabilidade, todos os voluntários conseguiram efetuar as tarefas básicas do jogo, como situar-se e interagir com o ambiente virtual, coletar os objetos da lista e locomover-se tanto através do uso dos *joysticks* quanto dos tapetes de teleporte. Contudo, em dois casos, foram relatados leve desconforto e náusea (*cybersickness*), interrompendo a atividade antes de concluir todas as fases. Em ambos casos, os pesquisadores estavam utilizando um *headset* de realidade virtual pela primeira vez e se recuperaram em poucos minutos após retirar o equipamento. Ainda, observou-se que indivíduos com miopia enfrentaram uma certa dificuldade para ler o conteúdo das interfaces de usuário, visto que não é possível utilizar óculos de grau com o *headset*.

Somado a isso, a validação do sistema foi complementada pela análise de quatro Terapeutas Ocupacionais especialistas, que avaliaram a usabilidade clínica e a pertinência terapêutica do ARCo-VR. Os resultados dos questionários de avaliação indicaram um alto índice de aprovação do sistema, com a maioria das afirmações de usabilidade, design e potencial terapêutico recebendo concordância total (nota 5) ou alta (nota 4) dos participantes. A Tabela 6.2 detalha as pontuações individuais para cada item da escala Likert.

Tabela 6.2: Resultados da avaliação do ARCo-VR por terapeutas ocupacionais

Afirmação	Especialista 1	Especialista 2	Especialista 3	Especialista 4
A interface do ARCo-VR é intuitiva e fácil de aprender a usar.	5	5	5	5
A navegação e os comandos funcionam de forma previsível e consistente.	5	5	5	5
O <i>design</i> do ambiente é agradável e contribui para a imersão do paciente.	5	5	5	5
A duração das animações é adequada ao tempo de resposta dos pacientes.	5	4	4	4
Na minha opinião, o uso do ARCo-VR pode contribuir para os objetivos terapêuticos do paciente.	5	5	5	5
O sistema pode ser facilmente integrado à rotina clínica sem demandar grande adaptação.	4	5	5	4
O ARCo-VR aumentou o engajamento dos pacientes nas sessões.	5	5	5	5
O nível de esforço cognitivo e motor exigido pareceu adequado ao perfil dos pacientes.	5	4	4	5

As respostas qualitativas reforçaram o potencial do ARCo-VR no contexto de reabilitação, destacando como principais pontos positivos o alto engajamento do paciente e o potencial para o desenvolvimento cognitivo (atenção, memória, varredura visual). Também foram elogiados os parâmetros de progressão (fases) e os níveis de assistência ao paciente. As sugestões de aprimoramento focaram principalmente na acessibilidade visual, como a necessidade de aumentar a letra da lista de objetos, especialmente para pacientes com dificuldades visuais. Outras sugestões incluíram a necessidade de aumentar o tamanho de alguns objetos no ambiente. Foi levantada ainda a possibilidade de, em futuras versões, variar os comandos do controle de acordo com o padrão motor de cada paciente.

6.4 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

Os protocolos de validação detalhados neste capítulo confirmaram a funcionalidade e a estabilidade do ARCo-VR, com os sistemas de *spawn* e mediação operando conforme o projeto. A usabilidade básica foi atestada pelos voluntários, que demonstraram uma curva de aprendizado eficiente.

A avaliação complementar com terapeutas ocupacionais forneceu uma validação fundamental da pertinência terapêutica do sistema, que obteve um alto índice de aprovação quanto ao seu potencial de engajamento e integração clínica. As principais sugestões de melhoria focaram na acessibilidade visual da interface e em adaptações para otimizar o conforto do usuário, mitigando relatos de *cybersickness* em participantes inexperientes.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo principal o desenvolvimento do ARCo-VR, um jogo sério de realidade virtual projetado para aplicações terapêuticas, com foco central na acessibilidade e na adaptabilidade à condição clínica de cada paciente. A conclusão deste projeto permite não apenas afirmar que o objetivo foi alcançado, mas também refletir sobre o processo de desenvolvimento, os resultados obtidos e os caminhos para sua evolução.

Ao longo dos capítulos, foi detalhado desde a fundamentação teórica, que justifica a utilização da RV e da metodologia DLOTCA em contextos de reabilitação cognitiva, até a implementação de uma arquitetura de *software* robusta e desacoplada. A arquitetura orientada a eventos, centrada no barramento GameEvents, mostrou-se uma decisão de projeto correta, pois conferiu ao sistema a manutenibilidade e a extensibilidade desejadas, permitindo que subsistemas como o TaskManager, o de *spawn* de objetos e o de mediação funcionassem de forma independente e coordenada.

A validação do sistema por meio de testes exploratórios com voluntários foi um passo importante. Os resultados demonstraram que o ARCo-VR é funcional e estável. Os aspectos centrais, como o sistema de *spawn* e distribuição aleatória de objetos, o mecanismo de mediação dinâmica e a persistência de dados de desempenho, comportaram-se conforme o planejado. A efetividade do tutorial e da curva de aprendizado foi atestada pelo fato de todos os voluntários terem conseguido realizar as tarefas básicas, como interagir com o ambiente e utilizar os sistemas de locomoção. A implementação de funcionalidades de acessibilidade, como o sistema de teleporte e a parametrização para mitigação do *cyber sickness*, evidenciou o compromisso do projeto em priorizar o bem-estar e a inclusão do usuário.

Contudo, é importante ressaltar que o desenvolvimento do *software* representa apenas a primeira etapa para essa ferramenta terapêutica, sendo necessária a comprovação da sua eficácia clínica. Além disso, alguns pontos de melhoria devem ser considerados, tais como: adaptar as interfaces para pacientes com baixa visão; viabilizar a exportação das métricas de desempenho, que atualmente estão armazenadas no ambiente de realidade virtual; e desvincular a interface do terapeuta para um módulo externo, visando facilitar o gerenciamento de perfis.

Dessa forma, a próxima etapa consiste na avaliação do sistema e na preparação para os testes clínicos. Portanto, será necessária a validação de conteúdo por especialistas, em que o sistema, em particular o mapeamento e a lógica de mediação adaptativa, será submetido à avaliação de terapeutas especializados na metodologia DLOTCA. Esse processo é essencial para assegurar que o jogo mantenha fidelidade teórica e validade enquanto ferramenta de intervenção.

Em seguida, deve-se submeter o projeto ao comitê de ética em pesquisa com seres humanos. O projeto completo, incluindo os protocolos de teste e o termo de consentimento livre e esclarecido, será apresentado para que os estudos clínicos possam ser realizados de forma ética e segura, assegurando a proteção dos participantes e a integridade da pesquisa.

Por fim, existem perspectivas de desenvolvimento que visam ampliar o alcance e a qualidade do ARCo-VR. Entre essas iniciativas, destaca-se a expansão de conteúdo, com a criação de novos cenários, listas de objetos e modos de jogo, de modo a diversificar os estímulos oferecidos e reduzir a possibilidade de saturação durante o uso prolongado. Outra frente importante é possibilitar a exportação de relatórios de desempenho, permitindo que terapeutas acompanhem a evolução dos pacientes e ajustem suas intervenções com base nos dados. Além disso, será necessário investigar aspectos relacionados ao conforto e à acessibilidade, buscando aprimorar a experiência de uso.

REFERÊNCIAS

- [1] R. M. de Paula, H. C. Hourani, G. G. B. Trivelli, O. Karajah, G. S. X. N. Neto, and M. M. G. Aires. Acidente vascular cerebral: Explorando a fisiopatologia e distúrbios do sono. *Research, Society and Development*, 12(10):e42121043382–e42121043382, 2023.
- [2] Ministério da Saúde. Acidente vascular cerebral (AVC). <https://bvsmms.saude.gov.br/avc-acidente-vascular-cerebral/>, 2015. Acesso em 31/10/2025.
- [3] M. Maramélia. Números do avc. <https://avc.org.br/numeros-do-avc/>, 2024. Acesso em 11/05/2025.
- [4] Sistema de Registro Civil Nacional. Sistema de registro civil nacional – crc nacional. <https://transparencia.registrocivil.org.br/inicio>, 2024. Acesso em 11/05/2025.
- [5] V. L. Feigin, B. A. Stark, C. O. Johnson, G. A. Roth, C. Bisignano, G. G. Abady, M. Abbasifard, M. Abbasi-Kangevari, F. Abd-Allah, V. Abedi, et al. Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990–2019: a systematic analysis for the global burden of disease study 2019. *The Lancet Neurology*, 20(10):795–820, 2021.
- [6] Andreza Maria Luzia Baldo de Souza, Antonio Carlos Pereira, Marcelo de Castro Meneghim, et al. Análise das internações e óbitos por acidente vascular cerebral em diferentes regiões do brasil antes e durante a pandemia de covid-19, 2024. Acesso em 31/10/2025.
- [7] E. S. S. Rangel, A. G. S. Belasco, and S. Diccini. Qualidade de vida de pacientes com acidente vascular cerebral em reabilitação. *Acta paulista de enfermagem*, 26:205–212, 2013.
- [8] Cleveland Clinic. Hemiparesia. <https://my.clevelandclinic.org/health/symptoms/24952-hemiparesis>, 2023. Acesso em 31/10/2025.
- [9] L. G. Martins. Fatores clínicos associados com o controle de tronco após acidente vascular cerebral: estudo prospectivo. Master’s thesis, Universidade Estadual Paulista (Unesp), São Paulo, 2020.
- [10] Juebin Huang and Michael C. Levin. Apraxia. <https://www.msmanuals.com/pt-br/casa/dist%C3%BArbios-cerebrais-da-medula-espinal-e-dos-nervos/disfun%C3%A7%C3%A3o-cerebral/apraxia>, 2023. Acesso em 31/10/2025.
- [11] F. A. da Costa, D. L. A. da Silva, and V. M. da Rocha. Estado neurológico e cognição de pacientes pós-acidente vascular cerebral. *Revista da Escola de Enfermagem da USP*, 45:1083–1088, 2011.
- [12] S. A. Teodoro and F. M. S. Von Glehn. Reabilitação multiprofissional no pós-acidente vascular cerebral: uma revisão integrativa. *Ciências da Saúde*, 29, 2025.
- [13] C. P. Tenório, D. F. Reis, E. Okuno, E. F. Do Carmo, G. S. da Silva, K. R. Rios, and M. V. F. Leite. Tecnologias de realidade virtual na reabilitação pós-avc: uma revisão de literatura. *Fisioterapia*, 28(139), 2024.

- [14] M. D. Gomes, L. C. Teixeira, and J. M. Ribeiro. *Enquadramento da Prática da Terapia Ocupacional: Domínio & Processo (4ª Edição)*. Politécnico de Leiria, 2021.
- [15] Roseli Esquerdo Lopes, Ana Paula Serrata Malfitano, Carla Regina Silva, and Patrícia Leme de Oliveira Borba. Recursos e tecnologias em terapia ocupacional social: ações com jovens pobres na cidade/resources and technologies in social occupational therapy: actions with the poor youth in town. *Cadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional*, 22(3), 2014.
- [16] Ada Salvetti Cavalcanti Caldas, Vera Lúcia Dutra Facundes, and Hilton Justino Silva. O uso da medida canadense de desempenho ocupacional em estudos brasileiros: uma revisão sistemática. *Revista de Terapia Ocupacional da Universidade de São Paulo*, 22(3):238–244, 2011.
- [17] Mary Law, Sue Baptiste, MaryAnn McColl, Anne Opzoomer, Helene Polatajko, and Nancy Pollock. The canadian occupational performance measure: an outcome measure for occupational therapy. *Canadian journal of occupational therapy*, 57(2):82–87, 1990.
- [18] Cheryl Boop, Susan M Cahill, Charlotte Davis, Julie Dorsey, Varleisha Gibbs, Brian Herr, Kimberly Kearney, Lizabeth Metzger, Julie Miller, Amy Owens, et al. Occupational therapy practice framework: Domain and process fourth edition. *AJOT: American Journal of Occupational Therapy*, 74(S2):1–85, 2020.
- [19] Jo Howe, Winnie Chua, Emily Sumner, Bogna Drozdowska, Rosanna Laverick, Rachel L Bevins, Emilie Jean-Baptiste, Martin Russell, Pia Rotshtein, and Alan M Wing. The efficacy of a task model approach to adl rehabilitation in stroke apraxia and action disorganisation syndrome: A randomised controlled trial. *PloS one*, 17(3):e0264678, 2022.
- [20] Shaomin Chen, Chang Lv, Jiaozhen Wu, Chengwei Zhou, Xiaolong Shui, and Yi Wang. Effectiveness of a home-based exercise program among patients with lower limb spasticity post-stroke: A randomized controlled trial. *Asian Nursing Research*, 15(1):1–7, 2021.
- [21] Meghan Mulhern. Cognitive rehabilitation interventions for post-stroke populations. *Delaware Journal of Public Health*, 9(3):70, 2023.
- [22] Amit Kumar Soni, Mohit Kumar, and Saroj Kothari. Efficacy of home based computerized adaptive cognitive training in patients with post stroke cognitive impairment: a randomized controlled trial. *Scientific Reports*, 15(1):1072, 2025.
- [23] Reinaldo Maeneja, Cláudia R Silva, Inês S Ferreira, and Ana Maria Abreu. Aerobic physical exercise versus dual-task cognitive walking in cognitive rehabilitation of people with stroke: a randomized clinical trial. *Frontiers in Psychology*, 14:1258262, 2023.
- [24] Andrea Turolla, Mauro Dam, Laura Ventura, Paolo Tonin, Michela Agostini, Carla Zucconi, Pawel Kiper, Annachiara Cagnin, and Lamberto Piron. Virtual reality for the rehabilitation of the upper limb motor function after stroke: a prospective controlled trial. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 10:1–9, 2013.
- [25] Shabnam Sadeghi Esfahlani, Tommy Thompson, Ali Davod Parsa, Ian Brown, and Silvia Cirstea. Rehabgame: A non-immersive virtual reality rehabilitation system with applications in neuroscience. *Heliyon*, 4(2), 2018.

- [26] Noomi Katz, Asnat Bar-Haim Erez, Liat Livni, and Sarah Averbuch. Dynamic lowenstein occupational therapy cognitive assessment: Evaluation of potential to change in cognitive performance. *The American Journal of Occupational Therapy*, 66(2):207–214, 2012.
- [27] Noomi Katz, Malka Itzkovich, Sara Averbuch, and Betty Elazar. Loewenstein occupational therapy cognitive assessment (lotca) battery for brain-injured patients: reliability and validity. *The American Journal of occupational therapy*, 43(3):184–192, 1989.
- [28] Reuven Feuerstein. *The Theory of Structural Cognitive Modifiability*, pages 11–23. National Education Association, 1990.
- [29] Albert Rizzo, Sebastian Thomas Koenig, et al. Is clinical virtual reality ready for primetime? *Neuropsychology*, 31(8):877, 2017.
- [30] Sebastian Deterding, Dan Dixon, Rilla Khaled, and Lennart Nacke. From game design elements to gamefulness: defining "gamification". In *Proceedings of the 15th international academic MindTrek conference: Envisioning future media environments*, pages 9–15, 2011.
- [31] Christian Burgers, Allison Eden, Mélisande D Van Engelenburg, and Sander Buningh. How feedback boosts motivation and play in a brain-training game. *Computers in Human Behavior*, 48:94–103, 2015.
- [32] Paul Milgram and Fumio Kishino. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 77(12):1321–1329, 1994.
- [33] Tomasz Mazuryk and Michael Gervautz. History, applications, technology and future. *Virtual Reality*, 72(4):486–497, 1996.
- [34] Howard Rheingold. *Virtual reality: The revolutionary technology of computer-generated artificial worlds-and how it promises to transform society*. Simon and Schuster, 1992.
- [35] R Lamson. Virtual therapy of anxiety disorders. *CyberEdge Journal*, 4(2):6–8, 1994.
- [36] Barbara Olasov Rothbaum, Larry F Hodges, Rob Kooper, Dan Opdyke, James S Williford, and Max North. Virtual reality graded exposure in the treatment of acrophobia: A case report. *Behavior therapy*, 26(3):547–554, 1995.
- [37] Luigi Pugnetti, Laura Mendozzi, Achille Motta, Annamaria Cattaneo, Elena Barbieri, and Aaron Brancotti. Evaluation and retraining of adults' cognitive impairments: Which role for virtual reality technology? *Computers in Biology and Medicine*, 25(2):213–227, 1995.
- [38] David J Brown, Steveno J Kerr, and Victor Bayon. The development of the virtual city: A user centred approach. In *Proc. 2nd Eur. Conf. Disabil. Virtual Reality Assoc. Tech., Skovde, Sweden*, 1998.
- [39] Zhengyou Zhang. Microsoft kinect sensor and its effect. *IEEE multimedia*, 19(2):4–10, 2012.
- [40] Anatole Lécuyer, Fabien Lotte, Richard B Reilly, Robert Leeb, Michitaka Hirose, and Mel Slater. Brain-computer interfaces, virtual reality, and videogames. *Computer*, 41(10):66–72, 2008.
- [41] Wikimedia Commons. Kinect sensor. <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:KinectSensor.png>, 2025. Acesso em 25/05/2025.

- [42] Maximilian Speicher, Brian D Hall, and Michael Nebeling. What is mixed reality? In *Proceedings of the 2019 CHI conference on human factors in computing systems*, pages 1–15, 2019.
- [43] Qualcomm. Meta quest 2 – xr device finder. <https://www.qualcomm.com/products/mobile/snapdragon/xr-vr-ar/xr-vr-ar-device-finder/meta-quest-2>, 2025. Acesso em 25/05/2025.
- [44] Jessica L Maples-Keller, Brian E Bunnell, Sae-Jin Kim, and Barbara O Rothbaum. The use of virtual reality technology in the treatment of anxiety and other psychiatric disorders. *Harvard review of psychiatry*, 25(3):103–113, 2017.
- [45] Hunter G Hoffman, David R Patterson, Gretchen J Carrougner, and Sam R Sharar. Effectiveness of virtual reality–based pain control with multiple treatments. *The Clinical journal of pain*, 17(3):229–235, 2001.
- [46] Kate E Laver, Belinda Lange, Stacey George, Judith E Deutsch, Gustavo Saposnik, and Maria Crotty. Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane database of systematic reviews*, 11, 2017.
- [47] Destaw B Mekbib, Jiawei Han, Li Zhang, Shan Fang, Hongjie Jiang, Junming Zhu, Anna W Roe, and Dongrong Xu. Virtual reality therapy for upper limb rehabilitation in patients with stroke: a meta-analysis of randomized clinical trials. *Brain injury*, 34(4):456–465, 2020.
- [48] Mel Slater. Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1535):3549–3557, 2009.
- [49] Michael Zyda. From visual simulation to virtual reality to games. *Computer*, 38(9):25–32, 2005.
- [50] Elizabeth A Boyle, Thomas Hainey, Thomas M Connolly, Grant Gray, Jeffrey Earp, Michela Ott, Theodore Lim, Manuel Ninaus, Claudia Ribeiro, and João Pereira. An update to the systematic literature review of empirical evidence of the impacts and outcomes of computer games and serious games. *Computers & Education*, 94:178–192, 2016.
- [51] Xiaofeng Gao, Ran Gong, Tianmin Shu, Xu Xie, Shu Wang, and Song-Chun Zhu. Vrkitchen: an interactive 3d virtual environment for task-oriented learning. *arXiv preprint arXiv:1903.05757*, 2019.
- [52] Hélder Filipe Costa Freitas. Desenvolvimento de jogos sérios orientados à prevenção de lesões nas mãos originadas pelo esforço repetitivo. Master’s thesis, Universidade do Minho (Portugal), 2017.
- [53] Isabela Granic, Adam Lobel, and Rutger CME Engels. The benefits of playing video games. *American psychologist*, 69(1):66, 2014.
- [54] Aram Kim, Nora Darakjian, and James M Finley. Walking in fully immersive virtual environments: an evaluation of potential adverse effects in older adults and individuals with parkinson’s disease. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 14:1–12, 2017.
- [55] Menglin Wu and Ya Zheng. Physical effort paradox during reward evaluation and links to perceived control. *Cerebral Cortex*, 33(15):9343–9353, 2023.

- [56] Cassie A Simmons, Nicolas Poupore, and Thomas I Nathaniel. Age stratification and stroke severity in the telestroke network. *Journal of Clinical Medicine*, 12(4):1519, 2023.
- [57] Zhiqing Wu, Duotun Wang, Shumeng Zhang, Yuru Huang, Zeyu Wang, and Mingming Fan. Toward making virtual reality (vr) more inclusive for older adults: Investigating aging effect on target selection and manipulation tasks in vr. In *Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1–17, 2024.
- [58] Ting Zhang, Wei Liu, Qingping Bai, and Song Gao. Virtual reality technology in the rehabilitation of post-stroke cognitive impairment: an opinion article on recent findings. *Frontiers in Psychology*, 14:1271458, 2023.
- [59] Adam Wojciechowski, Aneta Wiśniewska, Anna Pyszora, Magdalena Liberacka-Dwojak, and Karolina Juszczyk. Virtual reality immersive environments for motor and cognitive training of elderly people—a scoping review. *Human Technology*, 17(2):145–163, 2021.
- [60] Marcio Marques. Game engines: Conceitos e aplicações no desenvolvimento de jogos digitais. <https://warpzone.me/game-engines-conceitos-e-aplicacoes-no-desenvolvimento-de-jogos-digitais/>, 2025. Acesso em 25/05/2025.
- [61] Unity Technologies. What platforms are supported by unity? <https://support.unity.com/hc/en-us/articles/206336795-What-platforms-are-supported-by-Unity>, 2025. Acesso em 29/05/2025.
- [62] Joon-Ho Shin, Hokyoung Ryu, and Seong Ho Jang. A task-specific interactive game-based virtual reality rehabilitation system for patients with stroke: a usability test and two clinical experiments. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 11:1–10, 2014.
- [63] Gustavo Henrique da Silva Barbosa, Renato Nickel, and Eduardo Todt. Jogo em realidade virtual de treinamento para compensação de perda do campo visual para pacientes pós-avc. *Anais do Computer on the Beach*, 16:596–598, 2025.
- [64] Ian Sommerville. Software engineering (ed.). *America: Pearson Education Inc*, 2011.
- [65] Masahiro Mori, Karl F MacDorman, and Norri Kageki. The uncanny valley [from the field]. *IEEE Robotics & automation magazine*, 19(2):98–100, 2012.
- [66] “3D Studio”. O que é low poly e high poly modelagem? <https://3dstudio.co/pt/low-and-high-poly-modeling/>, 2025. Acesso em: 21/10/2025.
- [67] Jakob Nielsen. *Usabilidade na web*. Elsevier Brasil, 2007.

APÊNDICE A – ARQUITETURA DO SISTEMA DETALHADA

Este apêndice apresenta uma descrição detalhada dos principais subsistemas que compõem a arquitetura do ARCo-VR, complementando a visão de alto nível discutida no Capítulo 5. Cada subsistema é documentado de forma estruturada, abordando suas responsabilidades funcionais, os eventos que emite e consome, e os respectivos contratos. Essa organização visa explicitar os mecanismos internos de cooperação e sincronização entre componentes, tornando mais transparente o fluxo de dados e controle do sistema.

A.1 TASKMANAGER

A classe *TaskManager* é apresentada como um coordenador central do sistema, dessa forma ela não pertence a um subsistema funcional isolado porque seu papel é transversal, visto que é responsável por sincronizar fases do jogo, ciclo de sessões, transições e decisões que envolvem múltiplos subsistemas (*spawn*, tarefas, perfis, mediação, etc). Em vez de se limitar a uma única responsabilidade, como o subsistema de *spawn* ou o de mediação, a *TaskManager* gerencia pontos de integração, garante políticas globais de consistência e atua como ponto de decisão em cenários que exigem coordenação entre subsistemas.

A.1.1 Responsabilidades

De forma geral, o *TaskManager* é responsável por coordenar a sequência de inicialização entre os diferentes subsistemas, garantindo, por exemplo, que eventos como `PHASE_CONFIGURED` tenham ocorrido antes de permitir o *spawn* de objetos ou a seleção de alvos. Essa coordenação também envolve a mediação de situações em que há dependência entre componentes, lidando com atrasos ou aplicando estratégias de *fallback* quando algum serviço ainda não estiver pronto.

Além disso, o *TaskManager* centraliza decisões que exigem uma visão global do sistema, como o reinício de fases, o encerramento antecipado de sessões quando determinadas condições são atingidas, ou a garantia de coerência entre as preferências do perfil do usuário e as políticas de apresentação adotadas.

Por fim, o componente também atua como agregador de sinais relevantes para telemetria e registro de eventos. Isso inclui a marcação da finalização da configuração dos objetos sorteados para coleta, o registro de erros durante operações de coleta e a identificação do término das sessões.

A.1.2 Eventos

O *TaskManager* atua em torno de eventos já existentes no sistema e alguns sinais de coordenação. Ele consome eventos como `START_SESSION` e `PHASE_CONFIGURED` para iniciar e ordenar a sequência de inicialização (por exemplo: confirmar que a configuração de fase foi distribuída antes de autorizar o *spawn* e a seleção de alvos). Durante a execução, observa eventos relevantes (`TARGETS_SELECTED`, `ALL_OBJECTS_COLLECTED`, `MEDIATION_LEVEL_CHANGED`) para aplicar políticas de fluxo (por exemplo: avançar fase, ativar fallback, registrar métricas). Em suma, sua comunicação é: consumir estados/decisores relevantes, avaliar políticas globais e, quando necessário, emitir comandos de coordenação para alinhar os subsistemas.

A.1.3 Contratos

1. Pré-condições:

- Pressupõe que os subsistemas (fases, spawn, tarefas, perfis e mediação) cumpram seus próprios contratos locais de pré-condição;
- Deve existir um barramento de eventos confiável (o *GameEvents*) para troca de sinais entre o coordenador e os subsistemas.

2. Pós-condições:

- Após uma sequência de inicialização coordenada, o sistema alcança um estado em que a fase está configurada, os pontos de *spawn* foram acionados (ou adiados quando aplicável) e a seleção de alvos foi anunciada, permitindo que o fluxo de sessão prossiga;
- Em casos de término ou reinício da fase, o *TaskManager* garante que os subsistemas relevantes recebam sinais de limpeza/pausa e que o estado global seja atualizado antes de liberar a transição.

3. Invariantes:

- O coordenador deve sempre operar sem infringir os contratos locais dos subsistemas;
- O estado global exposto pelo *TaskManager* (por exemplo o estado da sessão) deve ser coerente para consumidores.

A.2 SUBSISTEMA DE CONFIGURAÇÃO DE OBJETOS COLETÁVEIS

A.2.1 Responsabilidades

O subsistema de configuração tem a responsabilidade de preparar instâncias de objetos da família *ObjectClass* para uso no jogo de realidade virtual. Seu domínio inclui todas as transformações e ligações necessárias para que um *prefab* se comporte como um objeto coletável interativo (configuração física, interação XR, efeitos visuais/sonoros e sinalização para outros subsistemas).

A.2.2 Eventos

Em relação aos eventos, o subsistema emite `TRY_COLLECT_OBJECT` quando o paciente coletar um objeto, sinalizando essa ação para outros subsistemas. Internamente, também reage a eventos padrão do XR Interaction Toolkit relacionados à interação com objetos, como quando o usuário seleciona ou aponta para o objeto. Esses eventos são utilizados para ativar comportamentos específicos, como o controle de coleta e a mudança visual ao passar o controle sobre o objeto. Além disso, o sistema consome `CORRECTED_OBJECT_COLLECTED`, que indica que o objeto correto foi coletado, o que desencadeia animações e *feedbacks* visuais.

A.2.3 Contratos

1. Pré-condições:

- Componente visual (exemplo: *Renderer*) para mudanças de material;

- Componente de física (opcional, mas será configurado caso presente);
- Componentes adicionais como áudio ou indicador visual (como seta flutuante);
- *Prefab* de luz válido, caso a classe do objeto o defina.

2. Pós-condições:

- A rotação do objeto será restrita, caso haja um componente de física;
- O objeto poderá ser agarrado pelo usuário;
- O *pointLight* será criado e estará inicialmente desativado;
- O sistema continuará monitorando as interações e respondendo aos eventos como esperado;
- Alterações visuais (exemplo: mudanças de cor) ocorrerão durante a interação e serão restauradas ao final.

3. Invariantes:

- Cada objeto coletável deve ter identidade única e referência à sua classe;
- O comportamento interativo deve ser consistente, com o objeto sempre respondendo de forma previsível;
- A luz associada ao objeto deve permanecer desativada até ser ativada por interações;
- O material visual do objeto deve retornar ao seu estado original após a interação.

A.3 SUBSISTEMA DE SPAWN DE OBJETOS

A.3.1 Responsabilidades

O subsistema de *spawn* tem a responsabilidade de escolher, mapear e instanciar objetos no mundo do jogo a partir das classes de objeto, garantindo que os objetos sejam colocados nas posições adequadas e rastreados para uso posterior. Além disso, está encarregado pela seleção de classes a partir da distribuição por fase, a tentativa de alocação de *spawn points* compatíveis e a aplicação de políticas de *fallback* quando ocorre algum tipo de imprevisto.

A.3.2 Eventos

Em relação aos eventos, o subsistema de *spawn* reage principalmente a dois sinais do sistema de jogo. O primeiro é o evento `PHASE_CONFIGURED`, que fornece uma *PhaseConfig* contendo parâmetros como o número total de objetos, os alvos coletáveis (*targets*), os objetos extras por nível de dificuldade e o nome da cena. A partir dele, o subsistema inicializa a sequência de *spawns* de acordo com a configuração recebida. O segundo é o evento `TUTORIAL_PLAY_TIME`, utilizado para adiar a inicialização do *spawn* quando a fase em execução corresponde à cena de Tutorial, garantindo que a lógica de instrução ao paciente seja respeitada antes do início da tarefa.

A.3.3 Contratos

1. Pré-condições:

- existe uma configuração de fase válida contendo o número de objetos esperado e as quotas (*targets/extras*) por nível de dificuldade;

- há pontos de *spawn* suficientes e descritos com suas categorias, de forma que seja possível tentar uma alocação compatível;
- o subsistema pode adiar a execução quando receber sinais que indicam espera (por exemplo, fase de tutorial ainda não iniciada).

2. Pós-condições:

- foi calculada uma distribuição de objetos com base nos parâmetros da fase e ajustada para caber no número de *spawnPoints* disponíveis;
- foi tentada uma seleção de pontos de spawn compatíveis com as categorias dos objetos; se uma seleção compatível não for encontrada, foi tentado um remapeamento que prioriza compatibilidade de categoria antes de abandonar a alocação;
- para cada *spawnPoints* mapeado, houve uma tentativa de instanciação do objeto; *spawns* bem-sucedidos resultaram em instâncias colocadas no mundo; *spawns* que falharam por indisponibilidade de modelos acionaram a política de *fallback* por categoria.

3. Invariantes:

- o registro de modelos marcados como já spawnados e o registro de instâncias presentes no mundo refletem apenas ações deste subsistema desde o último reset; não deve haver duplicação inconsistente entre modelos marcados e instâncias reais;
- a alocação entre objetos e pontos de *spawn* deve respeitar categorias sempre que possível; a lógica de seleção tenta garantir que requisitos de categoria sejam satisfeitos antes de aceitar um *fallback*.

A.4 SUBSISTEMA DE MEDIAÇÃO

A.4.1 Responsabilidades

O subsistema de mediação é responsável por aplicar a metodologia DLOTCA, ajustando dinamicamente o nível de suporte oferecido ao paciente durante a tarefa. Ele observa o desempenho (acertos e erros), atualiza seus contadores internos e traduz esse histórico em um nível de mediação de acordo com regras pré-definidas. Nos níveis mais altos de mediação (4 e 5), o foco recai sobre o objeto que provocou o aumento do nível e a partir dele o subsistema notifica os demais com o novo nível de mediação e o alvo associado, permitindo que sejam aplicados os efeitos de UI e *feedback* correspondentes.

A.4.2 Eventos

Em relação aos eventos, o subsistema reage a notificações de resultado de interação do paciente (sucesso ou erro), que alimentam seus contadores internos e acionam o recálculo do nível de mediação. Sempre que ocorre uma mudança de nível, ele emite o evento `MEDIATION_LEVEL_CHANGED`, contendo o nível atualizado e o alvo associado. Esse evento serve de gatilho para que outros subsistemas apliquem os efeitos visuais, sonoros e de UI correspondentes.

A.4.3 Contratos

1. Pré-condições:

- o subsistema recebe eventos de sucesso/erro provenientes do mecanismo de tarefa;
- as regras DLOTCA (*thresholds* que mapeiam número de erros para nível) estão definidas e conhecidas pelo subsistema;
- os consumidores da notificação de nível entendem o par (nível, alvo) e aplicam efeitos de apresentação de mediação de acordo.

2. Pós-condições:

- os contadores internos refletem o novo estado de mediação;
- o nível de mediação correspondente ao estado atual foi calculado segundo a regra DLOTCA e publicado junto de um alvo (se aplicável);
- consumidores aplicarão os efeitos de mediação no alvo indicado;
- em caso de coleta correta do alvo, efeitos residuais são removidos e o estado do subsistema é restaurado.

3. Invariantes:

- *currentErrors* é sempre um inteiro não-negativo que representa tentativas/erros acumulado;
- *maxMediationLevel* é não-decrescente durante a sessão, preservando informação sobre o pico de mediação atingido;
- o mapeamento de erros para nível (a função DLOTCA) é determinístico e aplicado consistentemente a cada evento.

A.5 SUBSISTEMA DE CONFIGURAÇÕES DE FASES

A.5.1 Responsabilidade

O subsistema de fases é responsável por definir e fornecer a configuração de fase (*PhaseConfig*) apropriada ao contexto de jogo. Seu domínio inclui o mapeamento da cena e do modo de jogo em um objeto de configuração que encapsula parâmetros, como quotas de *targets* e *extras* por nível de dificuldade, número total e requerido de objetos, dificuldade dos objetos. Para isso, o subsistema consulta sua estrutura interna de mapeamento, responsável por associar combinações de cena e modo de jogo às respectivas configurações. A partir dessa consulta, ele compõe a *PhaseConfig* correspondente e a publica para que os demais subsistemas a consumam.

A.5.2 Eventos

Em relação aos eventos, o subsistema consome a notificação `SCENE_DECLARED`, que informa qual cena foi selecionada e qual o modo de jogo corrente. A partir desses dados, ele compõe a configuração correspondente e publica o evento `PHASE_CONFIGURED`, contendo a instância de *PhaseConfig* gerada para a nova fase. Caso a cena declarada não corresponda a um índice conhecido, o subsistema registra o erro e interrompe o processo de configuração.

A.5.3 Contratos

1. Pré-condições:

- Deve existir um serviço de transição de cenas que notifique quando uma nova cena é carregada;
- O conjunto de índices de cena esperados deve cobrir as cenas válidas do projeto; passar um nome de cena cujo índice não esteja mapeado resultará em erro e abortará a configuração.

2. Pós-condições:

- Quando a execução for bem-sucedida, o subsistema publica o evento *PhaseConfigured* com uma *PhaseConfig*, contendo *sceneName*, *sceneIndex*, *targetsObjsByDifficulty*, *extrasObjsByDifficulty*, *numRequiredObjects*, *numTotalObjects*, *objectsDifficulty* e *gameMode*.

3. Invariantes:

- A relação entre *sceneIndex* e os parâmetros de configuração deve permanecer determinística conforme a tabela de mapeamento interna, ou seja, a mesma entrada de cena deve sempre originar a mesma *PhaseConfig* enquanto o mapeamento não for alterado;
- O valor de *gameMode* contido em *PhaseConfig* deve refletir o último modo de jogo selecionado pela terapeuta ocupacional;
- A *PhaseConfig* publicada deve conter campos coerentes entre si (por exemplo, *numTotalObjects* deve ser compatível com a soma de *targets+extras* ajustada, conforme as regras internas de composição).

A.6 SUBSISTEMA DE PERFIS DE PACIENTE

A.6.1 Responsabilidade

O subsistema de perfis de pacientes tem a responsabilidade de gerenciar o ciclo de vida completo dos perfis dos usuários no sistema. Seu domínio inclui a criação, armazenamento, recuperação, atualização e exclusão de perfis, bem como a geração de estatísticas de sessões e a aplicação das configurações específicas de cada paciente durante a execução do jogo.

A.6.2 Eventos

O subsistema emite `START_SESSION` quando um perfil é selecionado para iniciar uma sessão, sinalizando essa ação para outros subsistemas. Internamente, reage a eventos de interface do usuário relacionados à gestão de perfis, como criação, edição e seleção de pacientes. Além disso, o sistema consome eventos de finalização de sessão para atualizar as estatísticas agregadas do perfil e aplica configurações específicas (como as permissões de deslocamento via *joystick* e/ou teleporte) através de eventos `ALLOW_JOYSTICK_SETUP` e `ALLOW_TELEPORT_SETUP`.

A.6.3 Contratos

1. Pré-condições:

- Estrutura de diretórios válida para armazenamento de perfis;
- Componentes de UI devidamente inicializados para interação com o terapeuta.

2. Pós-condições:

- Cada perfil é armazenado em diretório único com ID e nome;
- As estatísticas de sessão são criadas automaticamente via arquivos `session_summary_*.json`;
- As configurações do perfil selecionado devem ser propagadas para toda a aplicação;
- As informações dos pacientes são serializadas em formato JSON.

3. Invariantes:

- IDs de perfil permanecem únicos e imutáveis;
- O perfil ativo sempre reflete o último selecionado;
- Configurações de acessibilidade (*joystick/teleporte*) são aplicadas globalmente.

APÊNDICE B – FLUXO ARQUITETURAL DETALHADO

Este apêndice apresenta uma descrição completa do fluxo arquitetural do ARCo-VR, unificando e detalhando a visão de alto nível discutida no Capítulo 5. A Figura B.1 é o resultado da união dos diagramas apresentados anteriormente, de forma a ilustrar todo o fluxo interno dos subsistemas e serviços, antes resumidos, proporcionando uma visão de baixo nível de abstração. Com isso, é possível compreender a sequência completa de operações, desde a interação inicial do terapeuta até o processamento final dos dados da sessão, explicitando as dependências temporais e as relações de comunicação entre todos os componentes do sistema.

O diagrama B.1 integra os fluxos anteriormente apresentados de forma separada, demonstrando a continuidade e interdependência entre as operações do sistema. Esta versão expandida inclui componentes internos do subsistema de gerenciamento de perfis que foram omitidos nas visualizações resumidas, são eles:

1. *ProfileManager*: atua como orquestrador principal das operações relacionadas a perfis, fornecendo uma interface unificada para busca, criação, seleção e manipulação de perfis de pacientes. Este componente encapsula a lógica de negócio e delega as operações de persistência para o serviço especializado.
2. *SessionState*: implementa um padrão singleton responsável por manter o estado da sessão atual entre diferentes cenas da aplicação. Este componente gerencia o perfil atualmente selecionado, persistindo essas informações através do carregamento de cenas e fornecendo acesso centralizado às configurações específicas do paciente
3. *ProfileDetailsModal*: representa a camada de apresentação que exhibe informações detalhadas do perfil selecionado para o terapeuta. Este controlador de interface coordena a exibição de estatísticas, como data da última sessão, total de sessões, duração média e taxa de sucesso, e captura as intenções do usuário através dos botões de ação.

Na fase inicial, observa-se a interação do terapeuta com o subsistema de perfis para seleção do paciente e configuração da sessão, culminando no evento `START_SESSION` que desencadeia o carregamento da cena. A transição de cenas, por sua vez, emite o evento `SCENE_DECLARED` que inicia a cadeia de configuração da fase.

O núcleo operacional do sistema é ativado quando o subsistema de configuração de fases recebe tanto a declaração da cena quanto o modo de jogo, calculando então a *PhaseConfig* completa. Esta configuração é distribuída via evento `PHASE_CONFIGURED` para múltiplos subsistemas: o subsistema de spawn inicia a instanciação e configuração dos objetos interativos, enquanto o *TaskManager* assume a coordenação da execução da sessão.

Durante a fase ativa da sessão, o diagrama detalha o ciclo contínuo de monitoramento e adaptação: cada interação do paciente com os objetos coletáveis gera eventos de acerto ou erro que são processados pelo *TaskManager* e subsistema de mediação. A mediação, seguindo a metodologia DLOTCA, ajusta dinamicamente o nível de suporte com base no desempenho do paciente, emitindo eventos de mudança de nível que podem influenciar a dificuldade e apresentação das tarefas.

Finalmente, o encerramento da sessão dispara a consolidação dos resultados pelo subsistema de perfis, que atualiza o histórico do paciente e persiste as estatísticas da sessão, enquanto o serviço de log registra todos os eventos significativos para posterior análise.

Esta visão unificada permite compreender como os subsistemas previamente descritos de forma isolada cooperam temporalmente para implementar o ciclo completo de terapia, desde a configuração inicial até o registro dos resultados, garantindo a consistência e sincronização de todas as operações do sistema.

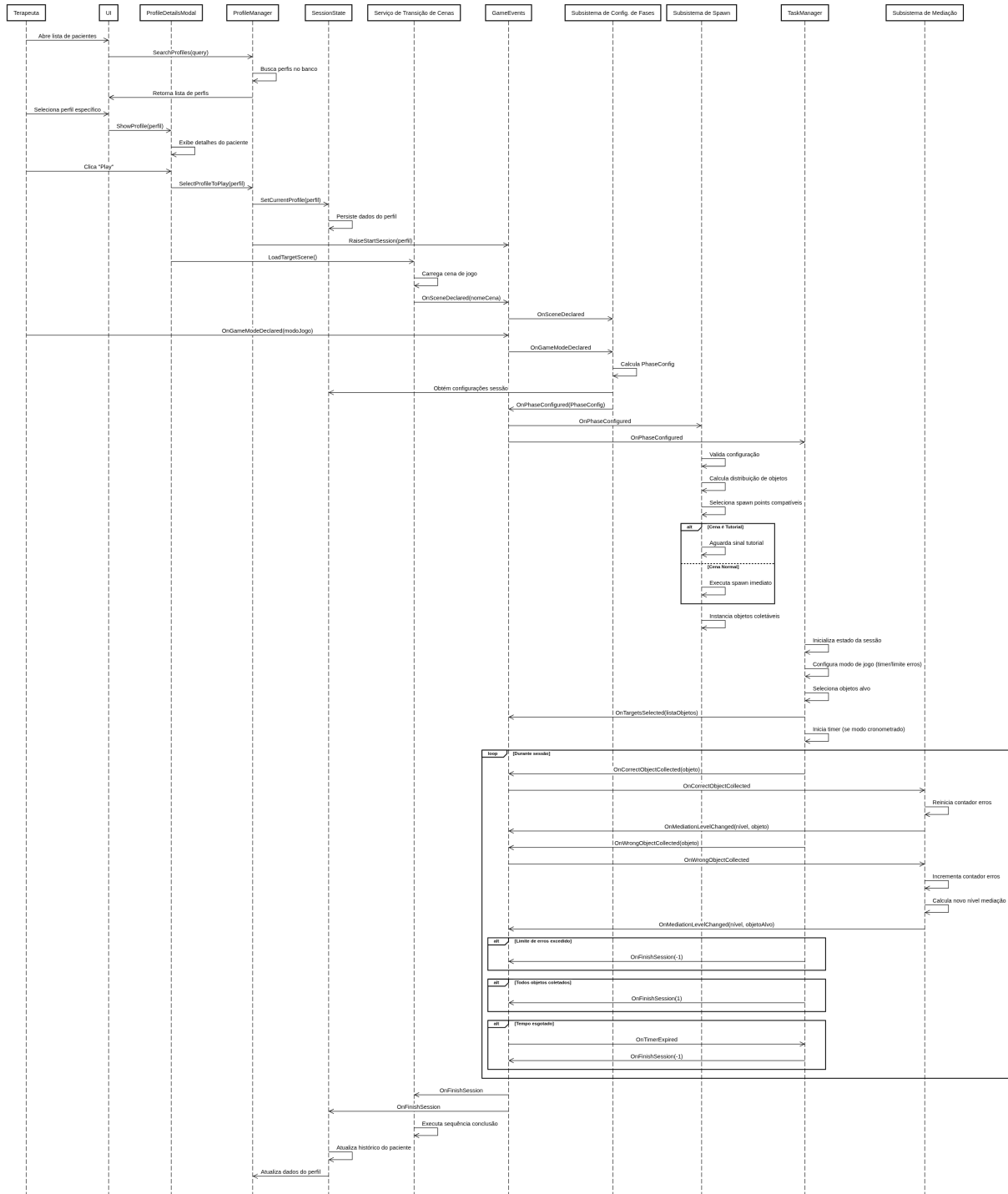


Figura B.1: Diagrama de sequência de sistema completo.