

Capítulo

5

Biofeedback na avaliação da experiência do usuário em ambientes imersivos

Ingrid Winkler, Paulo E. Ambrósio, Regina M. C. Leite, André M. Cordeiro, Lucas G. G. Almeida, Yasmim Thasla, Alexandre G. Siqueira, Marcio F. Catapan, Luciana O. Berretta

Abstract

This short course explores how the integration of biofeedback data can revolutionize the evaluation of User Experience in Virtual Reality environments. Essential concepts of VR, eye tracking and heart rate monitoring are explored, demonstrating how this information can be applied to gain valuable insights into the behavior and reactions of users in immersive experiences. Concepts and applications related to the health of participants in immersive experiences with a focus on professional training are also covered.

Resumo

Neste minicurso é abordado como a integração de dados de biofeedback pode revolucionar a avaliação da Experiência do Usuário em ambientes de Realidade Virtual. São explorados conceitos essenciais de RV, rastreamento ocular e monitoramento de frequência cardíaca, demonstrando como essas informações podem ser aplicadas para obter insights valiosos sobre o comportamento e as reações dos usuários em experiências imersivas. Também são abordados conceitos e aplicações relacionados à saúde dos participantes em experiências imersivas com foco em treinamento profissional.

5.1. Introdução: Ambientes Imersivos e Biofeedback: Conceitos, Tecnologias e Aplicações

A Realidade Virtual (RV) representa uma das mais expressivas inovações tecnológicas das últimas décadas, permitindo a criação de ambientes tridimensionais imersivos que simulam situações reais ou imaginárias. Por meio de dispositivos como óculos, sensores e controladores, os usuários podem interagir com cenários digitais em tempo real,

explorando espaços e realizando tarefas com liberdade de movimento e sensação de presença.

Paralelamente, o *biofeedback* surge como uma abordagem que permite o monitoramento e a devolutiva de sinais fisiológicos à pessoa em tempo real, proporcionando maior consciência corporal e emocional. A integração entre RV e *biofeedback* tem potencial revolucionário em diversas áreas: educação, saúde, treinamentos industriais, entretenimento, reabilitação e pesquisa em interação humano-computador.

Este capítulo introduz os conceitos fundamentais de ambientes imersivos em Realidade Virtual e *Biofeedback*, com ênfase em três sensores amplamente utilizados: Rastreamento Ocular, Variabilidade da frequência cardíaca e Eletroencefalografia (EEG). Apresentam-se aplicações práticas, implicações técnicas e éticas, e exemplos de como essas tecnologias podem ser combinadas para criar experiências imersivas responsivas e adaptativas.

5.2. Fundamentos de ambientes imersivos e Realidade Virtual

Ambientes Virtuais Imersivos (AVI) são espaços simulados digitalmente que buscam replicar ou expandir a realidade percebida pelo usuário, promovendo sensações de presença, interatividade e engajamento por meio de estímulos sensoriais diversos.

Os AVIs são ambientes persistentes, podendo ser permanentes, gerados por computador. Neles, múltiplos usuários em diferentes locais físicos e remotos podem interagir em tempo real, seja para fins de trabalho, diversão ou entretenimento. Também conhecidos como mundos virtuais imersivos, mundos virtuais 3D ou metaverso, os AVIs fazem parte de um subconjunto de aplicações de realidade virtual.

A Realidade Virtual é definida como uma representação digital tridimensional gerada por computador, que permite ao usuário sentir-se presente e interagir com o ambiente simulado. Por meio de óculos de RV, sensores de movimento e fones de ouvido, cria-se uma imersão sensorial que simula presença física e engajamento cognitivo. Conhecida também como realidade ficcional, a RV não se limita à mera reprodução do real, mas oferece experiências imersivas em mundos possíveis, mesmo que completamente fictícios.

Para os seres humanos, a percepção da realidade combina informação sensorial com os mecanismos cerebrais que dão sentido a essa informação. Assim, ainda que um ambiente imersivo em Realidade Virtual seja artificial, ele pode ser interpretado como real, despertando emoções, prazer, aprendizado e entretenimento, respondendo às ações do usuário [Tori; Hounsell; Kirner, 2018].

Esse efeito de realismo é potencializado pela união de periféricos especializados, softwares avançados, computadores de alto desempenho e gráficos tridimensionais. Juntos, esses elementos permitem que objetos virtuais sejam sentidos e manipulados de maneira intuitiva [Cardoso; Lamounier, 2006].

A interação com o mundo virtual acontece quando o usuário explora, manipula e altera os elementos desse ambiente, utilizando seus sentidos e movimentos naturais do corpo, como gestos, olhares e comandos de voz [Tori; Kirner, 2006]. Essa familiaridade torna a experiência mais fluida e envolvente, sem a necessidade de aprender comandos complexos.

Os ambientes em Realidade Virtual podem ser utilizados para simular espaços reais (como salas de aula, usinas ou hospitais) ou imaginários (como mundos artísticos ou lúdicos). A Realidade Virtual é caracterizada pela interatividade, imersão e envolvimento ativo do usuário, sendo especialmente poderosa em situações de aprendizado prático, treinamento sob risco e terapias baseadas em exposição.

A tecnologia de RV que conhecemos hoje foi construída ao longo de décadas, impulsionada por pioneiros que desempenharam um papel crucial no desenvolvimento dessas inovações. Graças aos avanços contínuos, a Realidade Virtual segue evoluindo e se consolidando como uma das mais fascinantes ferramentas digitais da atualidade.

A Realidade Aumentada (RA) e a Realidade Mista (MR) são tecnologias que complementam o mundo real com elementos virtuais, criando experiências em que objetos digitais parecem coexistir e interagir com o ambiente físico. A RA é caracterizada por combinar elementos reais e virtuais, permitindo a interatividade em tempo real e interação em três dimensões [Azuma, 1997]. Enquanto a RA insere camadas de informação ou objetos sobre o mundo real, a MR vai além, permitindo uma fusão mais avançada entre o real e o virtual, com interações dinâmicas e respostas em tempo real. Já o termo Realidade Estendida (XR) atua como um guarda-chuva conceitual que abrange tanto a RV quanto a RA e a MR, sendo utilizado para descrever qualquer tecnologia imersiva que expanda ou modifique a percepção do usuário em relação ao mundo real ou virtual.

As experiências oferecidas por AVIs são potencializadas pelo uso de interfaces multisensoriais e dispositivos avançados de interação. Interfaces hápticas, por exemplo, proporcionam ao usuário a sensação de toque e textura, aumentando o realismo da experiência. Além disso, sistemas de rastreamento ocular, reconhecimento de voz e sensores corporais permitem que os ambientes virtuais respondam de forma natural aos movimentos e comandos do usuário, ampliando a imersão e a interatividade. Esses recursos transformam a navegação e manipulação em ações intuitivas, aproximando ainda mais a experiência digital da vivência no mundo físico.

Nos últimos anos, a convergência entre essas tecnologias (Realidade Virtual, Realidade Aumentada, Realidade Mista e Ambientes Virtuais Imersivos) tem pavimentado o caminho para o desenvolvimento do metaverso. Esse conceito se refere a uma rede interconectada e em larga escala de mundos virtuais tridimensionais, persistentes e renderizados em tempo real, nos quais os usuários podem interagir de forma síncrona com outras pessoas e com o ambiente digital.

O metaverso é definido como uma rede massivamente dimensionada e interoperável de mundos virtuais 3D renderizados em tempo real que podem ser experimentados de forma síncrona e persistente por um número efetivamente ilimitado de usuários com um senso de presença individual e com continuidade de dados, como identidade, histórico, direitos, objetos, comunicações e pagamentos [Ball, 2022]. Nesse

cenário, os Ambientes Virtuais Imersivos não apenas compõem o metaverso, mas são fundamentais para sua construção, oferecendo a base para experiências digitais complexas, contínuas e integradas entre o real e o virtual.

5.2.1. Aplicações Práticas de Tecnologias Imersivas: Educação, Indústria e Entretenimento

As tecnologias imersivas estão deixando de ser tendências experimentais para se tornarem ferramentas práticas em diversos setores. Esta seção exemplifica como RV, RA e MR estão sendo utilizadas na educação, indústria e no entretenimento e lazer, evidenciando seus impactos, benefícios e desafios. Ao longo dos casos, será possível observar como essas tecnologias ampliam possibilidades de aprendizagem, otimizam processos produtivos e reinventam experiências culturais.

5.2.1.1. Educação

A Realidade Virtual tem se consolidado como uma ferramenta inovadora no ensino, expandindo suas aplicações e proporcionando experiências de aprendizagem imersivas que antes eram inimagináveis [Dalgarno; Lee, 2010]. Nos últimos anos, sua integração aos currículos escolares e universitários tornou-se mais estruturada, à medida que educadores e desenvolvedores colaboram para criar soluções tecnológicas que complementam e enriquecem o ensino tradicional.

Estudos mostram que a RV pode melhorar significativamente a retenção do conhecimento e a compreensão de conceitos abstratos. Ambientes de aprendizagem baseados em RV proporcionam resultados superiores em comparação com métodos convencionais, destacando seu potencial para transformar a maneira como os alunos interagem com conteúdos educacionais [Merchant, 2014].

Um dos aspectos mais promissores da Realidade Virtual na educação é sua capacidade de tornar o aprendizado mais inclusivo e acessível. Essa tecnologia pode ser adaptada para atender às necessidades de alunos com deficiências, criando ambientes personalizados que ajudam a superar barreiras físicas e cognitivas [Smith; Hamilton, 2015]. Dessa forma, a VR democratiza a educação, garantindo que todos os estudantes tenham experiências de aprendizagem significativas.

A personalização do conteúdo educacional em Realidade Virtual pode aumentar a eficiência e a satisfação dos alunos, tornando o aprendizado mais dinâmico e envolvente [Radianti et al., 2020]. Além disso, a RV viabiliza o acesso a ambientes antes inacessíveis, como visitas virtuais a locais históricos, exploração de ecossistemas remotos e até simulações de viagens espaciais, ampliando o horizonte dos estudantes e tornando o ensino mais enriquecedor [Dalgarno; Lee, 2010].

Além do aspecto educativo, o turismo virtual revolucionou a forma como as pessoas experienciam as viagens a partir do conforto das suas casas, oferecendo uma experiência imersiva e simulando a sensação de estar fisicamente presente em um local turístico, proporcionando também um vislumbre das viagens futuras [Ouerghemmi et al., 2023]. Como exemplo, a implementação da realidade virtual no contexto do turismo de cacau na Mata Atlântica não só oferece uma solução inovadora, mas também promove a sustentabilidade, a educação e o desenvolvimento econômico, alinhando-se

com as metas globais de preservação ambiental e desenvolvimento sustentável (Figura 5.1).

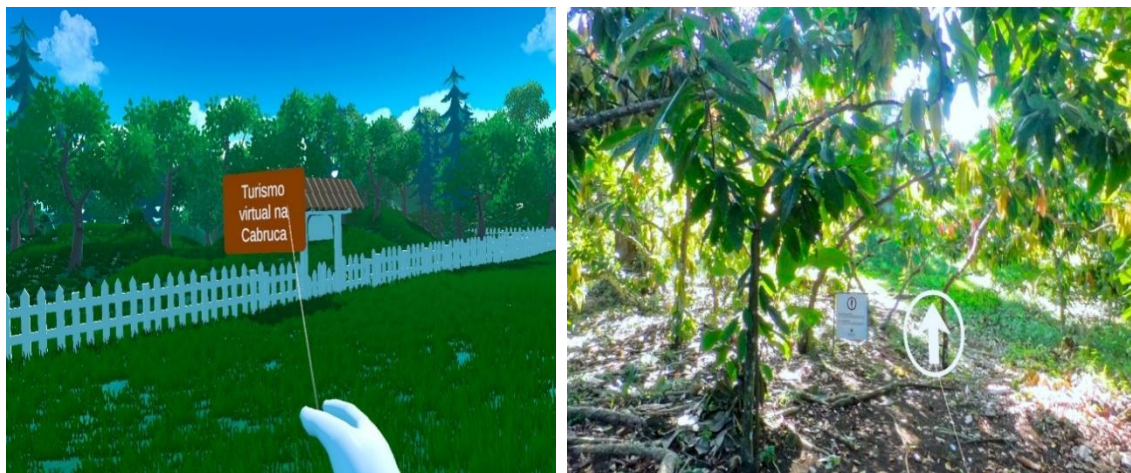


Figura 5.1. Turismo virtual na Cabruca (Alves 2025, MTILab/UESC)

A Realidade Virtual tem sido cada vez mais utilizada no ensino de Artes e Humanidades, oferecendo experiências imersivas que aprofundam a compreensão da cultura, história e arte. A RV também revoluciona o ensino de Humanidades, tornando-o mais experiencial e contextualizado. Por exemplo, uma aula de literatura pode ser enriquecida com uma visita virtual ao cenário descrito em um romance, promovendo uma absorção mais aplicada dos conceitos [Luo et al., 2021]. No ensino de História, visitas a museus virtuais possibilitam a interação do estudante com objetos e documentos de difícil acesso (Figura 5.2).



Figura 5.2. Imersão na História da Independência da Bahia (MTILab/UESC)

Além de suas aplicações educacionais, a RV democratiza o acesso à arte e cultura, permitindo que indivíduos de diversas regiões e com diferentes capacidades participem plenamente dessas experiências. Instituições culturais podem usar a RV para criar exposições virtuais acessíveis a todos, reduzindo barreiras geográficas e físicas [Smith; Hamilton, 2015].

Jogos desenvolvidos com técnicas de Realidade Virtual, podem não apenas entreter, mas também educar e promover a compreensão intercultural, contribuindo assim para uma maior valorização e preservação das diferentes culturas [Titus e Ng'ambi, 2023]. O jogo IsoPuzzle (Figura 5.3), apresenta-se como uma ferramenta intrincada de aprendizado, é um jogo educativo interdisciplinar que combina quebra-cabeças, geometria isométrica e simbologia Adinkra.



Figura 5.3. IsoPuzzle (Moura 2024)

5.2.1.1.1. Laboratórios imersivos de ciências

Em diversas universidades, como a Arizona State University (EUA), a realidade virtual tem sido usada para simular experimentos químicos, biológicos e físicos em ambientes virtuais controlados. O ensino de ciências tem sido fortemente impactado pela RV, permitindo visualizações tridimensionais de moléculas, observação detalhada de reações químicas e até viagens pelo corpo humano para entender processos biológicos [Merchant et al., 2014]. Os estudantes podem explorar moléculas em 3D, manipular reagentes e observar reações em escala molecular sem riscos reais. Isso democratiza o acesso ao conhecimento prático, especialmente em instituições que não dispõem de laboratórios físicos.

Além disso, laboratórios virtuais oferecem um espaço seguro para experimentações, permitindo que os alunos pratiquem habilidades investigativas sem

riscos e aprendam com erros através da repetição ilimitada [Makransky et al., 2020]. A Realidade Virtual também possibilita a exploração de ambientes inacessíveis no mundo real, como o espaço sideral, o fundo do oceano ou ecossistemas distantes, aumentando o engajamento dos alunos e tornando a aprendizagem mais memorável [Dalgarno; Lee, 2010].

Outro benefício significativo da Realidade Virtual é sua capacidade de promover interação e colaboração entre alunos. Ambientes virtuais podem ser configurados para suportar múltiplos usuários, permitindo que estudantes trabalhem juntos em projetos, discutam conceitos e resolvam problemas de maneira cooperativa [Roussou, 2004]. Essa abordagem fortalece habilidades comunicativas e de trabalho em equipe, essenciais para a aprendizagem moderna.

5.2.1.1.2. Realidade Aumentada em livros e materiais didáticos

A Realidade Aumentada tem revolucionado a forma como o conteúdo educacional é apresentado, oferecendo novas possibilidades para o engajamento dos estudantes e a compreensão de conceitos abstratos. Em vez de limitar-se a imagens estáticas e textos, livros e materiais didáticos com RA permitem que conteúdos ganhem vida por meio de elementos digitais tridimensionais sobrepostos ao mundo físico. Essa integração torna o aprendizado mais interativo, visual e dinâmico, beneficiando especialmente alunos do ensino básico, que frequentemente aprendem melhor por meio da exploração e da experimentação.

Plataformas como o Merge Cube permitem que alunos do ensino fundamental visualizem estruturas complexas, como o sistema solar, órgãos do corpo humano (Figura 5.4) ou dinossauros em 3D, diretamente sobre um cubo físico, usando apenas um celular. Essa abordagem permite que os alunos interajam com os objetos digitais, girando-os, ampliando-os e observando-os de diferentes ângulos, promovendo uma experiência mais envolvente e significativa. Professores de biologia, por exemplo, podem transformar aulas expositivas em experiências interativas de exploração anatômica.

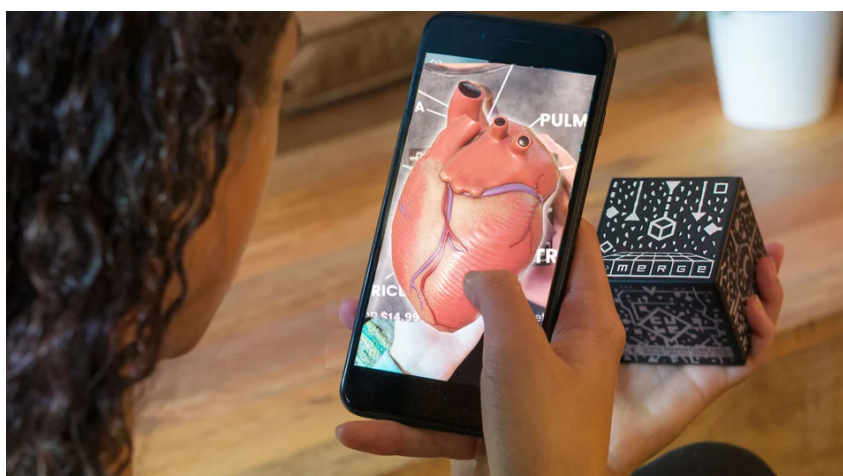


Figura 5.4: Uso do Merge Cube em aulas remotas (SQUIRRELS LLC 2020)

Além de conteúdos científicos, a RA também tem sido aplicada em livros infantis e obras literárias, onde personagens saltam das páginas e interagem com o leitor. Isso cria uma conexão emocional mais forte com o conteúdo e pode ajudar na alfabetização e no estímulo à leitura. Em contextos bilíngues ou multilíngues, recursos de RA podem incluir traduções instantâneas, pronúncias guiadas e contextos culturais visuais, promovendo uma aprendizagem mais rica.

Muitos recursos de RA são compatíveis com celulares comuns, o que permite sua adoção mesmo em ambientes escolares com infraestrutura tecnológica limitada. A integração da Realidade Aumentada ao ambiente escolar como ferramenta pedagógica contribui para a formação de competências digitais e prepara os estudantes para um futuro no qual tecnologias imersivas estarão cada vez mais presentes em diversos campos profissionais.

5.2.1.1.3. Realidade Mista para treinamentos técnicos

A Realidade Mista tem se destacado em aplicações para o treinamento técnico em ambientes industriais e profissionais. Diferente da Realidade Virtual, que imerge completamente o usuário em um ambiente digital, a MR combina o mundo real com elementos virtuais interativos, possibilitando que os usuários trabalhem em cenários que mesclam objetos físicos e digitais de forma integrada. Isso cria um ambiente seguro e controlado para o desenvolvimento de habilidades práticas, especialmente em áreas que envolvem máquinas complexas ou riscos operacionais.

No Brasil, instituições como o SENAI CIMATEC têm adotado a MR para capacitação de operadores de máquinas industriais. Os alunos podem visualizar simulações virtuais de equipamentos reais sobrepostos ao ambiente físico da sala de aula. Dessa forma, é possível praticar a manipulação de botões, válvulas ou painéis com feedback visual em tempo real. Essa interação realista permite que os alunos experimentem diferentes procedimentos, compreendam a sequência correta de operações e aprendam a responder a falhas ou situações de emergência sem riscos reais.

Esse método de ensino promove não apenas a segurança, eliminando a exposição direta a máquinas em funcionamento, mas também aumenta a retenção do conteúdo. O aprendizado ativo, por meio da prática simulada, facilita a fixação das informações e prepara o aluno para a realidade do ambiente industrial com maior confiança.

A aplicação da Realidade Mista em treinamentos técnicos também contribui para a modernização dos processos educacionais e produtivos, alinhando a formação profissional às demandas de Indústrias 4.0. O uso de tecnologias imersivas potencializa a capacitação de trabalhadores, melhora a produtividade e reduz custos relacionados a erros operacionais e acidentes.

5.2.1.2. Indústria

Os novos métodos de produção que incorporam Sistemas Ciberfísicos nas áreas de manufatura, logística e serviços estão impulsionando uma transformação significativa na

estrutura industrial, rumo ao modelo da Indústria 4.0, reconhecido por seu expressivo potencial econômico [Lee; Bagheri; Kao, 2015].

Nesse contexto de inovação, as tecnologias imersivas estão desempenhando um papel fundamental na otimização dos processos industriais. Essas ferramentas possibilitam simulações avançadas, treinamento interativo para colaboradores e uma visualização aprimorada de dados e operações, aumentando a eficiência e reduzindo custos operacionais.

A evolução tecnológica não ocorre isoladamente, mas traz consigo uma série de mudanças organizacionais, promovendo o surgimento de novos modelos de negócios e incentivando uma maior participação dos colaboradores na gestão e operação dos sistemas. Com o apoio das tecnologias imersivas, os trabalhadores podem interagir com interfaces digitais intuitivas, acessar informações em tempo real e solucionar problemas de forma mais ágil e precisa. Isso demanda um entendimento mais profundo sobre o funcionamento dessas tecnologias e o fluxo de informações, a fim de identificar soluções eficazes para desafios específicos [Erol; Schumacher; Sihn, 2016; Kagermann; Wahlster; Helbig, 2013].

5.2.1.2.1. Simulações de segurança e operação

Em indústrias marcadas por riscos operacionais, acidentes podem resultar em perda de vidas, elevados prejuízos financeiros e graves consequências sociais ou ambientais. Assim, torna-se fundamental treinar e avaliar a eficácia dos treinamentos, especialmente no que diz respeito à sua capacidade de se preparar adequadamente para situações do mundo real.

Aplicação de tecnologias de RV têm o potencial de proporcionar altos níveis de fidelidade física e psicológica, imergindo os treinandos em cenários realistas e interativos. Em indústrias de alto risco, o treinamento em saúde e segurança baseado em RV oferece vantagens significativas, ao permitir que os participantes enfrentem situações complexas e inovadoras sem se exporem a perigos ou colocarem em risco equipamentos industriais de alto valor. Esse ambiente de treinamento imersivo possibilita a simulação de diversas falhas, incluindo emergências raras que geralmente não ocorrem nas operações cotidianas. Essa abordagem não apenas reduz riscos, protege a saúde e preserva os ativos da organização, como também permite uma avaliação comportamental abrangente e eficaz.

Empresas como a Shell e a Boeing utilizam ambientes virtuais para treinar seus trabalhadores em situações críticas, como vazamentos de gás, incêndios ou falhas operacionais. O uso de RV nesses casos reduz custos, evita acidentes e permite múltiplas repetições sem consequências reais. Um operador de plataforma de petróleo pode simular o abandono de área em um ambiente 100% virtual, reproduzido com fidelidade.

No contexto da construção civil, o trabalho em altura segue requisitos explícitos nas Normas Regulamentadoras NR18 e NR35 (Brasil, 2023), mesmo assim, a prevenção de acidentes nessas atividades ocorre com dificuldade devido ao treinamento deficitário, à falta de fiscalização e monitoramento e a negligência, especialmente na guarda e conservação dos equipamentos de segurança.

Esta constatação reforça a necessidade de medidas preventivas e treinamentos específicos para garantir a proteção dos trabalhadores. O descumprimento das normas de segurança e as más condições laborais permanecem como as principais causas de acidentes na construção civil. As quedas de altura, por exemplo, representam 36% do total de acidentes registrados, o que evidencia a relevância da Realidade Virtual como ferramenta para treinamento em altura. O uso dessa tecnologia auxilia na identificação e prevenção de riscos ocupacionais, além de reduzir incidentes e aumentar a produtividade [Getuli et al., 2021].

A realidade virtual imersiva permite a simulação realista dos canteiros de obras, viabilizando estratégias ativas de treinamento [Eiris et al., 2020]. Quando aplicada na indústria da construção, facilita a estimativa dos riscos e contribui para sua prevenção. Segundo Jeelani et al. (2020), ambientes imersivos proporcionam uma melhoria de 39% no reconhecimento de perigos e de 44% na gestão de riscos. Mesmo trabalhadores experientes e previamente treinados nem sempre conseguem identificar e gerenciar riscos com eficácia, pois essas habilidades cognitivas dependem de atenção, exame visual e tomada de decisão.

Existem pesquisas que apresentam métodos que auxiliam no desenvolvimento e aplicação de treinamentos imersivos de forma colaborativa e multiplataforma, ampliando sua adoção no setor industrial [Almeida et al., 2023]. Com base nesses procedimentos, foi desenvolvido um treinamento virtual para operação segura de prensa hidráulica que conduz o operador pelas etapas de posicionamento bi-manual, tudo em ambiente livre de riscos, demonstrado na Figura 5.5. O cenário admite sessões multiusuário, nas quais instrutor e colegas podem acompanhar a execução em tempo real e orientar correções, recurso alinhado à tendência de AVIs industriais voltados à interação social [Almeida et al., 2023].

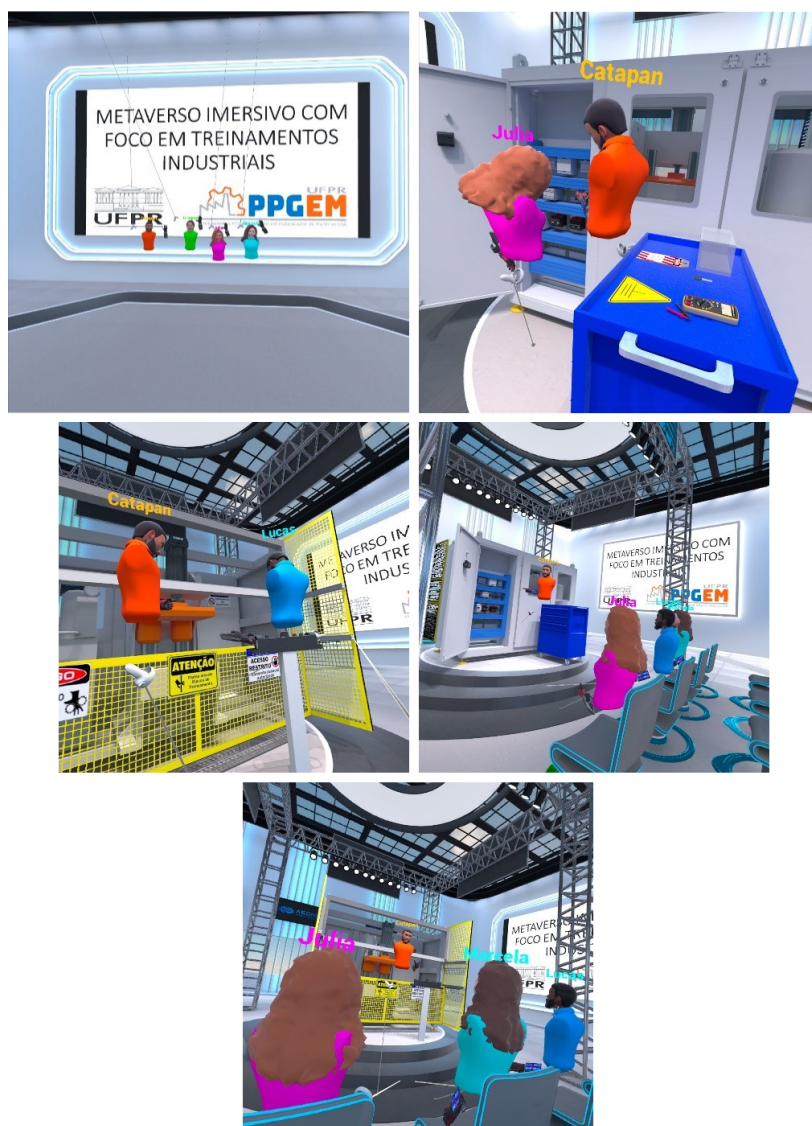


Figura 5.5. Treinamento imersivo multiusuário com prensa hidráulica (Almeida et al., 2023)

5.2.1.2.2. Suporte remoto com Realidade Aumentada

Na manutenção de equipamentos industriais, a RA tem sido uma ferramenta para o suporte remoto. Por meio do uso de dispositivos vestíveis, como o óculos de realidade aumentada RealWear, que pode ser visto na Figura 5.6, técnicos em campo podem receber instruções visuais sobrepostas diretamente em seu campo de visão enquanto executam tarefas. Isso permite que eles tenham as mãos livres para trabalhar, mantendo acesso contínuo a informações críticas e orientação detalhada.



Figura 5.6. Uso do óculos RealWear para suporte remoto na indústria (REALWEAR 2020)

Uma das principais vantagens da aplicação dessa tecnologia para esse propósito é a possibilidade de interação em tempo real com especialistas localizados remotamente. Um engenheiro mais experiente pode ver exatamente o que o profissional em campo está visualizando, oferecer suporte personalizado e guiar a execução de procedimentos complexos, reduzindo erros e aumentando a eficiência. Essa colaboração remota minimiza a necessidade de deslocamentos físicos, acelerando o tempo de resposta e reduzindo os custos operacionais.

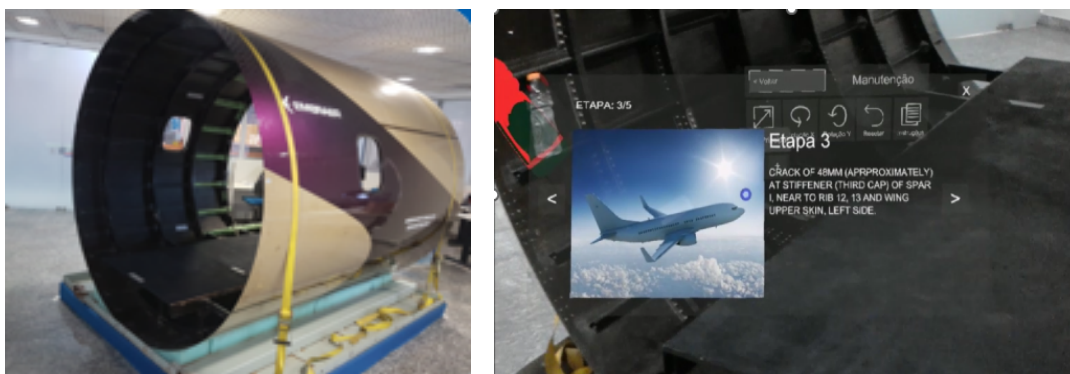


Figura 5.7. Seção transversal de uma aeronave e aplicação de RA para manutenção (SENAI CIMATEC 2025)

Além disso, a RA para suporte remoto contribui para diminuir o tempo de parada de máquinas, uma vez que o atendimento pode ser realizado com agilidade e precisão, evitando atrasos na produção. A sobreposição de diagramas e alertas instrutivos no ambiente real aumenta a clareza das instruções e facilita o entendimento do técnico, mesmo em situações de alta pressão ou complexidade. Como exemplo, a Figura 5.7 demonstra o projeto de assistência remota da EMBRAER que aplicou RA para indicar etapas da manutenção em aeronaves.

5.2.1.2.3. Prototipagem e co-design com Realidade Virtual e Realidade Mista

A prototipagem e o co-design baseados em Realidade Virtual e Realidade Mista estão a ser cada vez mais aplicados, oferecendo vantagens significativas ao design colaborativo e ao desenvolvimento de produto [Kent et al., 2021; Wang et al., 2020]. A tecnologia permite sobrepor e ajustar componentes virtuais diretamente sobre protótipos físicos, acelerando ciclos de desenvolvimento e apoiando decisões mediante análises e visualizações aprimoradas [Kent et al., 2021]. Em sessões de co-design em tempo real (Figura 5.8), diversos participantes-chave podem manipular simultaneamente o mesmo modelo 3D integrado ao ambiente físico, inserindo anotações e validando requisitos em tempo real, prática que tem reduzido retrabalho e melhorado a convergência de ideias [Wang et al., 2020].



Figura 5.8. Sessão de co-design com Realidade Mista. (Chamusca 2025)

Especificamente na manufatura, onde o design de produto é crucial, os ambientes imersivos possibilitam diversas aplicações [Wang et al., 2020]. Um exemplo destacado é a indústria automobilística, onde sistemas exploratórios de RM permitem aos designers sobrepor modelos virtuais em ambientes físicos reais [Wang et al., 2020]. Isso potencializa atividades de design colaborativo e revisão de projetos, aprimorando significativamente a comunicação e a visualização entre participantes [Wang et al., 2020]. Além disso, os mesmos recursos que fortalecem a interação in loco podem ser estendidos a equipes distribuídas, apontando para um escopo de colaboração que transcende os limites físicos da fábrica.

Sob a ótica da prototipagem virtual, a MR (em conjunto com RV e RA) desponta como ferramenta versátil, capaz de substituir ou complementar protótipos físicos, permitir testes e análises digitais, e viabilizar a visualização interativa de múltiplas alternativas de design a menor custo [Kent et al., 2021; Wang et al., 2020]. Esses

protótipos podem ser réplicas fieis dos produtos ou incorporar atributos adicionais que enriquecem a experiência do usuário; a inserção direta de informações digitais no ambiente real torna-se decisiva para compreender o uso e aumentar a eficiência do processo de design [Kent et al., 2021]. Exemplos de protótipos em desenvolvimento em RV e MR são demonstrados nas Figuras 5.9 e 5.10.



Figura 5.9. Protótipo de eletrodoméstico em Realidade Virtual (SENAI CIMATEC 2025)



Figura 5.10. Protótipo de veículo em Realidade Virtual (SENAI CIMATEC 2025)

Expandindo além das fases de design e prototipagem, a RM também se destaca como ferramenta para colaboração remota [Wang et al., 2021]. Nesses contextos, a tecnologia possibilita interação em tempo real entre usuários geograficamente distantes, facilitando a comunicação e o compartilhamento não verbal de informações. Essa capacidade é útil em domínios como telemedicina, educação, treinamento, manutenção e engenharia [Wang et al., 2021].

Depois de examinar as aplicações e benefícios da MR, é importante considerar os obstáculos que ainda limitam sua adoção em escala. Apesar das vantagens, a implementação ampla da Realidade Mista enfrenta desafios significativos. Entre eles

estão a escassez de diretrizes claras de design, problemas de compatibilidade técnica, dificuldades na concepção de interfaces espaciais e integração aos fluxos de trabalho existentes [Krauß et al., 2021].

A percepção da irrelevância ou inadequação de recomendações para design em MR, fator que impacta diretamente as práticas de co-design, ao limitar orientações claras sobre como diferentes participantes podem colaborar e validar soluções em ambientes híbridos pode ser atribuída à falta de clareza sobre o uso pretendido e sobre o público-alvo, à abstração excessiva relativa a dispositivos específicos e dificuldades em encontrar conteúdos relevantes para profissionais em canais acadêmicos [Krauß et al., 2021]. Contudo, diante do potencial transformador que a MR apresenta para o design, colaboração remota e prototipagem, superar esses desafios é essencial para promover inovação e crescimento contínuos [Wang et al., 2021; Krauß et al., 2021].

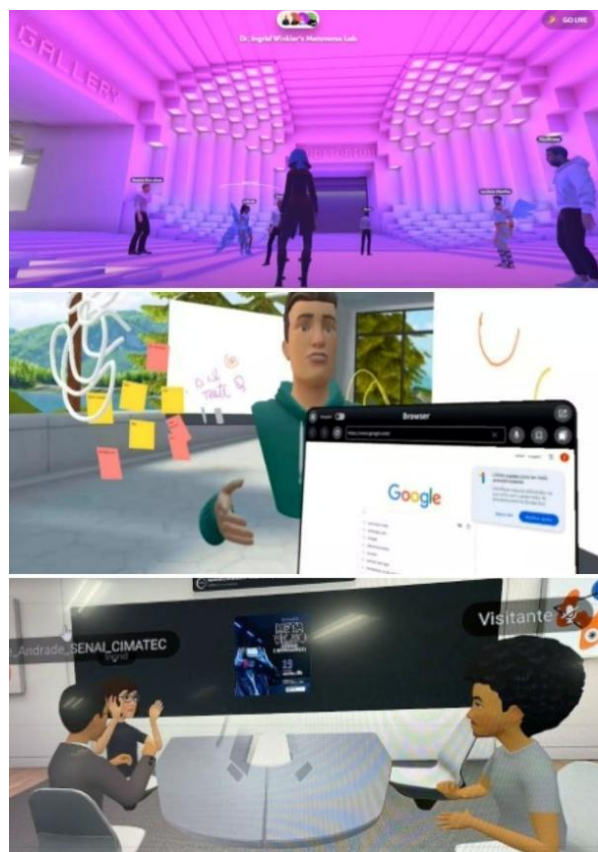


Figura 5.11. Exemplos de colaboração remota nas plataformas de Realidade Virtual SPATIAL, Horizon Workrooms e Glue (SENAI CIMATEC 2025)

5.2.1.3. Entretenimento e Lazer

A transformação digital está redefinindo a maneira como a sociedade se comunica, consome informações e interage com o mundo ao seu redor. Impulsionada por avanços tecnológicos cada vez mais sofisticados, essa mudança afeta desde a forma como

trabalhamos até como nos divertimos e socializamos. No setor de entretenimento e lazer, um dos aspectos mais inovadores dessa revolução é a ascensão das tecnologias imersivas, que oferecem experiências cada vez mais interativas e envolventes.

Essas tecnologias têm expandido os limites do entretenimento, permitindo que os usuários se transportem para mundos virtuais, interajam com conteúdos de maneira inédita e vivenciem novas formas de engajamento em jogos, filmes, atrações culturais e até eventos esportivos. Seja na indústria dos videogames, na exibição de filmes imersivos ou na criação de museus interativos, as tecnologias imersivas não apenas aprimoram a diversão, mas também criam novas possibilidades de aprendizado e conexão social.

5.2.1.3.1. Jogos em Realidade Virtual

Os jogos em RV se destacam no entretenimento digital, oferecendo experiências imersivas além dos jogos tradicionais. Títulos populares como *Beat Saber*, *Half-Life: Alyx* e *The Walking Dead: Saints & Sinners* demonstram o potencial da RV para transportar os jogadores para mundos virtuais detalhados, onde a interação não é apenas visual, mas física e sensorial.

O PlayStation VR2 (Figura 5.12), lançado pela Sony como sucessor do PSVR, representa um avanço significativo nos jogos em realidade virtual para consoles. Compatível com o PlayStation 5, o dispositivo oferece gráficos em 4K HDR, rastreamento ocular, resposta tátil no headset e controles *Sense* com feedback preciso, elevando a sensação de presença e imersão. Equipamentos como esse demonstram como a tecnologia proporciona experiências envolventes, com jogabilidade intuitiva e ambientes virtuais ricos em detalhes, integrando performance técnica e conforto ao entretenimento doméstico.



Figura 5.12. PlayStation VR2 (SONY INTERACTIVE ENTERTAINMENT LLC 2023)

Por meio de controles de movimento e sensores posicionados no ambiente, os usuários podem se mover livremente, agachar, pular, pegar e manipular objetos dentro do jogo, ampliando a sensação de presença e controle. Essa integração entre o corpo e o

ambiente virtual redefine a forma como o jogador se relaciona com o conteúdo, tornando a experiência muito mais ativa e envolvente.

Além do entretenimento, os jogos em RV promovem benefícios cognitivos e físicos, estimulando a coordenação motora, o raciocínio espacial e o tempo de reação. Muitos jogos também incentivam a socialização virtual, com ambientes multiplayer que possibilitam a interação e cooperação entre jogadores em diferentes localidades. Os jogos em RV representam uma convergência entre tecnologia, arte e interação humana, ampliando os limites do entretenimento digital e experiências sensoriais

5.2.1.3.2. Museus e exposições com Realidade Aumentada

A RA pode ampliar a forma como o público interage com museus e exposições ao proporcionar camadas adicionais de informação e experiências imersivas que enriquecem a visita. Instituições como o Museu do Louvre, em Paris, e o MASP, em São Paulo, têm adotado aplicativos com RA para enriquecer exposições, transformando a observação passiva em uma jornada interativa para os visitantes.

Por meio de dispositivos móveis, como smartphones, o visitante pode apontar a câmera para obras de arte ou artefatos e visualizar informações contextuais, textos explicativos e reconstruções históricas em camadas digitais sobre o objeto real. O uso dessa tecnologia permite contextualizar as peças, ampliar detalhes ou recriar eventos relacionados ao objeto exposto.

Museus virtuais, exposições interativas e recriações históricas permitem que os usuários explorem conteúdos de maneira dinâmica, proporcionando um aprendizado envolvente e memorável [Roussou, 2004]. Isso aumenta o engajamento e a compreensão do público e também oferece acessibilidade ampliada, auxiliando pessoas com diferentes níveis de conhecimento ou necessidades especiais a explorar os acervos de forma personalizada e interativa. A mediação digital também abre espaço para novas formas de curadoria e narrativa, integrando elementos educativos e culturais.

5.2.1.3.3. Espetáculos híbridos com Realidade Mista

Espectáculos híbridos com Realidade Mista estão transformando a forma como o público vivencia performances ao vivo, ao fundir o mundo físico com elementos digitais interativos em tempo real. Em eventos como o festival SXSW (South by Southwest), nos Estados Unidos, artistas têm explorado a MR para criar apresentações em que o espectador, equipado com óculos como o HTC Vive ou o Magic Leap, presencia simultaneamente a performance física do artista e camadas digitais imersivas, como cenários dinâmicos, dançarinos virtuais, avatares e efeitos visuais tridimensionais que reagem à música ou à movimentação do público.



Figura 5.13. Apresentação da HTC com RV no SXSW (LANG; VARIETY 2022)

Essa convergência entre arte, tecnologia e interatividade redefine o conceito tradicional de espetáculo. O palco deixa de ser um espaço limitado e passa a ser expandido virtualmente, permitindo que cada participante viva uma experiência única, adaptada à sua posição e interação com o ambiente. A narrativa pode ser fragmentada, envolvente e não linear, abrindo novas possibilidades para a expressão artística.

Além de concertos, essa tecnologia tem sido aplicada em peças teatrais, óperas e instalações imersivas, onde a presença física e a presença digital coexistem de forma contínua. A Realidade Mista, ao permitir a sobreposição de conteúdo digital ao ambiente real com liberdade de movimento e percepção tridimensional, proporciona não apenas um espetáculo visual, mas uma sensação de participação ativa do público.

5.2.1.4. Saúde

O setor de saúde adotou a realidade virtual pela primeira vez na década de 1990, utilizada como uma ferramenta de planejamento para procedimentos cirúrgicos complexos. A adoção crescente da Realidade Virtual no setor de saúde é impulsionada por sua capacidade exclusiva de oferecer simulações imersivas, interativas e altamente realistas, abrindo caminho para avanços em treinamento médico, estratégias de reabilitação e intervenções psicológicas.

No treinamento médico os simuladores cirúrgicos permitem que estudantes e cirurgiões pratiquem procedimentos complexos em ambientes virtuais, sem riscos a pacientes reais.

As tecnologias de RV, utilizam dispositivos computacionais interativos, que têm evoluído para simular de forma cada vez mais fiel a interação humana em ambientes virtuais. Esse avanço tem possibilitado a criação de soluções realistas e seguras. Em contextos de reabilitação com uso de aparelhos, algumas abordagens baseadas em Realidade Virtual têm se destacado como alternativas promissoras aos métodos

tradicionais. Entre elas, as soluções que utilizam Jogos Sérios Virtuais ganham relevância por promoverem maior engajamento e motivação dos pacientes, ao introduzirem uma dimensão de entretenimento em atividades que, de outro modo, poderiam ser cansativas e repetitivas [Silva, 2017]. O CicloExergame, Figura 5.14, é um exemplo de um jogo sério para apoiar a realização de sessões de telerreabilitação que envolvem o cicloergômetro (bicicleta de cabeceira) na reabilitação de pacientes com disfunções motoras.

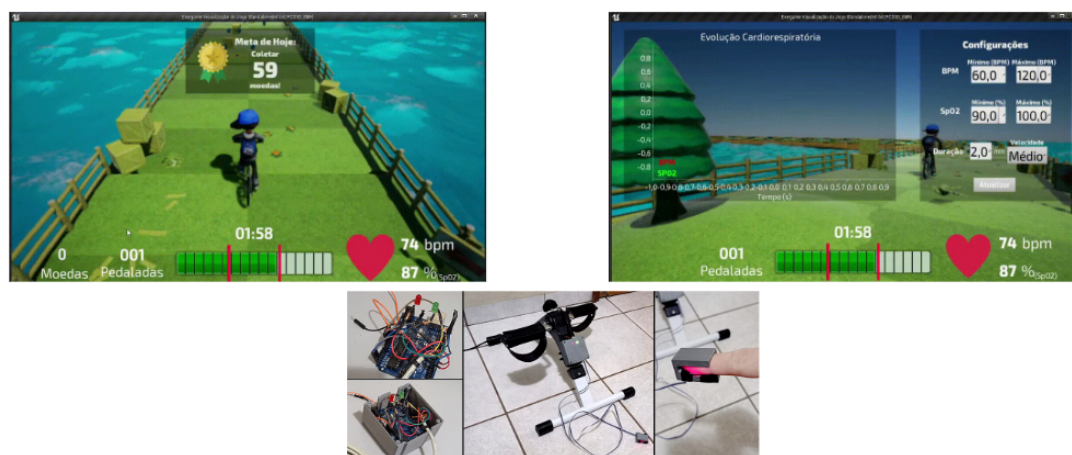


Figura 5.14. CicloExergame (Souza 2021, LabJIS/UFG)

Os jogos sérios têm se mostrado ferramentas promissoras no contexto dos cuidados com a saúde, ao aliar elementos lúdicos com objetivos educativos e/ou terapêuticos. Eles podem contribuir para o engajamento de pacientes em seus tratamentos, facilitar o aprendizado de práticas saudáveis e melhorar a adesão a rotinas médicas, especialmente entre crianças, adolescentes e idosos. Além disso, permitem a simulação de cenários clínicos para a capacitação de profissionais da saúde, promovendo a aprendizagem prática em ambientes controlados e seguros. Combinando motivação, interatividade e feedback em tempo real, os jogos sérios fortalecem a relação entre tecnologia e bem-estar, ampliando o alcance e a efetividade das estratégias de promoção da saúde. O Lenda Daara e o Saúde Bucal, Figuras 5.15 e 5.16 respectivamente, apresentam exemplos de jogos sérios voltados para o cuidado com a saúde. O Lenda Daara é um jogo que utiliza a casa como forma de coletar dados do paciente diabético e/ou hipertenso e atua nesse ambiente de forma lúdica e que inspira o autocuidado. O Saúde Bucal é um jogo voltado para o público infantil que apoia na escolha de melhores alimentos e cuidados na escovação.

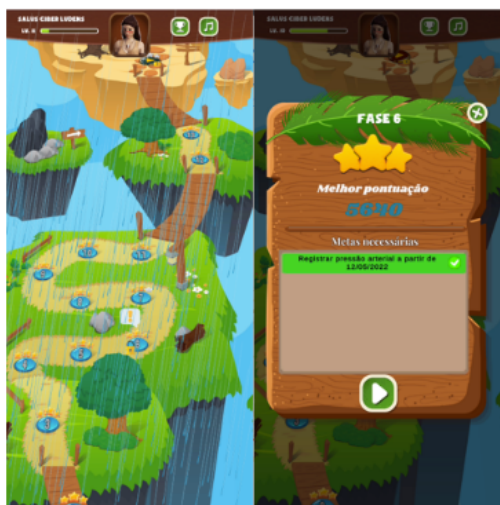


Figura 5.15. Lenda Daara (Wanderley 2021)



Figura 5.16. Saúde Bucal (Mendonça 2022)

Os jogos sérios têm ganhado destaque também como ferramentas complementares em intervenções psicológicas, oferecendo abordagens interativas e envolventes para o tratamento de diversas condições, como ansiedade, depressão, transtornos do espectro autista (TEA) e fobias. Esses jogos são projetados com fundamentos em teorias psicológicas e técnicas terapêuticas, como a terapia cognitivo-comportamental, promovendo o autoconhecimento, a regulação emocional e o desenvolvimento de habilidades sociais. Ao proporcionar um ambiente controlado e seguro para a experimentação de comportamentos e enfrentamento de situações desafiadoras, os jogos sérios facilitam o engajamento dos pacientes no processo terapêutico, especialmente entre crianças e adolescentes. Além disso, permitem o monitoramento do progresso de forma dinâmica e personalizada, contribuindo para intervenções mais eficazes e adaptadas às necessidades individuais. O DiagnosTEA, Figura 5.17, é um jogo digital implementado para auxiliar o diagnóstico e tratamento do TEA.



Figura 5.17. DiagnosTEA (Barbosa 2024, LabJIS/UFG)

Soluções imersivas têm potencial para apoiar o desenvolvimento de habilidades de orientação e mobilidade em pessoas cegas, ao oferecer ambientes virtuais seguros e controlados onde os usuários podem explorar, treinar e experimentar diferentes estratégias de locomoção. Utilizando recursos como áudio 3D, feedback tátil e

simulações realistas, essas soluções permitem que os participantes pratiquem a percepção espacial, a identificação de obstáculos e a tomada de decisões em trajetos urbanos ou internos, promovendo maior confiança e autonomia na vida real. Esse tipo de abordagem integra saúde, tecnologia e inclusão, ampliando as possibilidades de reabilitação e participação ativa no cotidiano. O Escape_INF-VR é um jogo imersivo do tipo escape que pode ser jogado por pessoas cegas e videntes (Figura 5.18). Além do entretenimento, para as pessoas cegas, o jogo com respostas sonoras e táteis pode apoiar o desenvolvimento da cognição espacial e das habilidades de orientação e mobilidade.



Figura 5.18. Escape-INF-VR (Coronado 2024, LabJIS/UFG)

À medida que a medicina avança em direção a uma maior complexidade, a demanda por metodologias inovadoras se intensifica, posicionando a realidade virtual como um caminho promissor para a área da saúde, especialmente considerando as restrições econômicas associadas às simulações presenciais tradicionais. Diferentemente de muitos outros domínios de alto risco, a área da saúde notavelmente carece de um protocolo padronizado para ensaio e simulação preventivos antes que os trainees se envolvam em cenários clínicos de alto risco ou realizem procedimentos complexos em pacientes reais.

Os exemplos expostos mostram que os ambientes imersivos já estão sendo adotados de maneira estratégica e escalável. Algumas tendências emergentes incluem a customização adaptativa, na qual os ambientes se ajustam ao perfil do usuário, a integração com inteligência artificial, permitindo agentes virtuais mais responsivos e personalizados e o aumento da portabilidade, com dispositivos cada vez mais leves, acessíveis e conectados.

Porém, ainda há desafios importantes: a infraestrutura tecnológica, a capacitação de professores e profissionais, as questões éticas envolvidas na coleta de dados e a necessidade de inclusão digital. Para que a adoção dessas tecnologias seja efetiva e equitativa, é fundamental desenvolver políticas públicas, promover pesquisa aplicada e investir em formação multidisciplinar.

5.3. Senso de presença em Realidade Virtual

O senso de presença em RV refere-se à sensação subjetiva de "estar presente" no ambiente digital. É o fenômeno psicológico que ocorre quando o usuário começa a reagir ao mundo virtual como se ele fosse real, mesmo sabendo que está em uma simulação. A presença não depende apenas da qualidade gráfica ou dos dispositivos utilizados, mas da integração entre aspectos tecnológicos e fatores humanos.

Embora os termos imersão e presença muitas vezes sejam usados como sinônimos, eles têm significados distintos. Imersão é uma característica objetiva do sistema de RV, refere-se à capacidade técnica do ambiente de simular um mundo convincente por meio de elementos como som tridimensional, imagens em 3D estereoscópico, rastreamento corporal e interfaces responsivas. Já a presença é o estado subjetivo em que o usuário se sente realmente dentro desse ambiente virtual. Em suma, a imersão é proporcionada pela tecnologia, enquanto a presença é uma experiência psicológica do usuário.

Tradicionalmente, a presença em ambientes virtuais é avaliada por meio de questionários subjetivos. No entanto, métodos objetivos como medidas comportamentais e monitoramento fisiológico são muito eficazes por captarem reações involuntárias do usuário, como o tempo de reação aos estímulos e o comportamento da sua visão na interação com o ambiente. No campo do monitoramento fisiológico, sinais corporais são usados para inferir o nível de presença, a seção a seguir aborda a utilização do *biofeedback* na Realidade Virtual.

5.4. Biofeedback: Conceitos e Sensores

O *biofeedback* em Realidade Virtual é a coleta, monitoramento e interpretação em tempo real de sinais fisiológicos do usuário durante a interação com o ambiente virtual. Esses dados permitem avaliar a experiência do usuário, adaptar dinamicamente o conteúdo da simulação e promover autorregulação e autoconsciência.

Em ambientes de RV, as medições de *biofeedback* apoiam a compreensão do estado físico, emocional e cognitivo do usuário. Entre as métricas mais utilizadas estão a frequência cardíaca (HR) e a variabilidade da frequência cardíaca (HRV), que indicam níveis de excitação, estresse ou relaxamento. A condutância da pele (GSR), por sua vez, mede alterações na sudorese, refletindo diretamente a intensidade da excitação emocional diante de estímulos virtuais.

Outra métrica importante é a eletromiografia (EMG), que registra a tensão muscular, especialmente em regiões como o rosto ou os ombros. A tensão muscular elevada pode sinalizar estresse, esforço físico ou reações intensas a eventos no ambiente virtual. A dilatação pupilar e os padrões de respiração também são utilizados para avaliar carga cognitiva e estados emocionais, pupilas mais dilatadas e respiração mais rápida geralmente indicam maior engajamento ou ansiedade. O eletroencefalograma (EEG), permite uma leitura direta da atividade cerebral, revelando níveis de atenção, concentração e sobrecarga cognitiva.

Essas medições fornecem dados para prever aspectos do comportamento do usuário. Por exemplo, uma queda na variabilidade da frequência cardíaca combinada com aumento da GSR pode indicar níveis elevados de estresse, o que é útil para ajustar a dificuldade de uma tarefa em tempo real. O EEG pode identificar momentos de sobrecarga cognitiva, permitindo que sistemas adaptativos reduzam a complexidade do ambiente ou ofereçam pausas estratégicas. Já padrões de EMG associados à tensão mandibular podem sinalizar frustração ou esforço excessivo, útil em treinamentos que envolvam precisão motora, como simulações cirúrgicas.

Combinadas, essas métricas possibilitam uma personalização profunda da experiência em RV, promovendo maior imersão e engajamento. Além disso, o uso do *biofeedback* permite tornar a realidade virtual uma ferramenta não apenas de entretenimento, mas também de avaliação emocional, treinamento adaptativo e suporte terapêutico. Ao compreender melhor os estados internos do usuário por meio de suas respostas fisiológicas, é possível criar experiências virtuais mais responsivas, seguras e eficazes.

Os sensores mais utilizados em contextos imersivos para captura de sinais que compõem o *biofeedback* incluem rastreamento ocular, variabilidade da frequência cardíaca e eletroencefalografia.

5.4.1. Rastreamento Ocular

O rastreamento ocular é uma ferramenta importante para medir e influenciar o senso de presença do usuário no ambiente virtual. Ele mede a direção, duração e sequência dos olhares do usuário. É amplamente utilizado para avaliar a atenção visual, o interesse e a carga cognitiva. Em RV, o rastreamento ocular permite que o ambiente responda ao foco visual do participante, ou que se meça seu engajamento durante tarefas específicas [Holmqvist et al., 2011].

Os sensores de rastreamento ocular, ou *eyetrackers*, são normalmente integrados aos óculos de RV. Esses sensores monitoram em tempo real para onde o usuário está olhando, permitindo captar o foco visual, os padrões de atenção e a movimentação dos olhos dentro do ambiente virtual. Essa tecnologia acrescenta uma nova camada de interatividade e personalização às experiências imersivas, tornando possível adaptar o conteúdo de acordo com o comportamento visual do usuário.

Uma das principais aplicações do rastreamento ocular em RV é a otimização do desempenho gráfico por meio da técnica chamada *foveated rendering*. Com ela, o sistema renderiza com alta resolução apenas a região para onde o usuário está olhando diretamente, enquanto reduz a resolução periférica. Isso melhora a performance dos sistemas e reduz a carga computacional sem comprometer a qualidade percebida da imagem. O rastreamento ocular também permite criar interações mais naturais com o ambiente, como selecionar objetos apenas com o olhar ou gerar respostas adaptativas a partir da interação que o usuário está tendo com o ambiente apenas pelos olhos.

Do ponto de vista da pesquisa e avaliação do usuário, o rastreamento ocular fornece dados objetivos sobre o nível de presença e engajamento. Por exemplo, quando os movimentos oculares seguem os eventos virtuais de natural, é um indicativo de que o usuário está imerso e emocionalmente envolvido com a experiência. Por outro lado,

padrões desorganizados ou foco visual difuso podem sinalizar distração, desconforto ou quebra de presença.

Além disso, o rastreamento ocular também pode ser utilizado em conjunto com outras métricas de *biofeedback* para enriquecer a análise do estado mental e emocional do usuário. Por exemplo, a combinação entre rastreamento ocular, dilatação pupilar e atividade cerebral (EEG) pode indicar momentos de alta carga cognitiva ou tomada de decisão.

5.4.2. Variabilidade da Frequência Cardíaca (HRV)

A variabilidade da frequência cardíaca mede as variações entre os intervalos de batimentos cardíacos consecutivos, refletindo o equilíbrio entre os sistemas simpático e parassimpático. É um indicador importante de estresse, recuperação e regulação emocional [Shaffer e Ginsberg, 2017]. Em ambientes de RV, pode-se utilizar a Variabilidade da Frequência Cardíaca para detectar sobrecarga emocional ou adaptar a experiência ao nível de ansiedade do usuário.

No caso do *biofeedback* de frequência cardíaca, sensores conectados ao usuário monitoram suas respostas fisiológicas e transmitem os dados para um computador, onde são processados. A visualização dessas informações em tempo real possibilita ao indivíduo modificar suas próprias reações, promovendo um processo de autorregulação [Tori; Hounsell; Kirner, 2018].

Essa técnica atua como uma intervenção cardiorrespiratória, utilizando eletrocardiograma (ECG) para fornecer dados da frequência cardíaca, batimento a batimento, enquanto o usuário realiza manobras de respiração lenta. Isso permite ajustes conscientes nos processos corporais, favorecendo reduções na ansiedade e estados de relaxamento [Zeier, 1984].

Além de seu impacto na saúde emocional, a respiração influencia funções autonômicas, regulando a atividade parassimpática do coração. Assim, sistemas de RV com *biofeedback* podem integrar práticas de Mindfulness para o alívio do estresse e ansiedade no ambiente de trabalho.

O treinamento com *biofeedback* de frequência cardíaca se assemelha a práticas meditativas, pois envolve atenção aos movimentos respiratórios e o desvio do foco de preocupações. Como resultado, o usuário aprende a suprimir ou estimular atividades cerebrais específicas, aprimorando seu funcionamento cognitivo e emocional [Lehrer; Gevirtz, 2014].

Além de contribuir para o bem-estar e saúde física, o *biofeedback* é reconhecido como um método terapêutico valioso [Lantyer; Viana; Padovani, 2013]. Em ambientes virtuais projetados para *biofeedback*, técnicas de gamificação podem ser usadas para engajar o usuário no treinamento de habilidades emocionais. Dessa forma, o sistema responde às alterações fisiológicas e recompensa os avanços positivos na assimetria cortical.

De acordo com Lehrer e Gevirtz (2014), o *biofeedback* de frequência cardíaca é útil em diversas condições fisiológicas e psicológicas, como dor, ansiedade, depressão, controle da pressão arterial e desempenho atlético. Treinar o foco na respiração e na

atenção plena promove benefícios físicos e mentais, como redução do estresse, queda dos níveis de cortisol e melhoria na tomada de decisões e criatividade.

Embora tradicionalmente aplicado na área clínica [Lehrer e Gervitz, 2014], o *biofeedback* vem sendo investigado em contextos como esportes, gravidez e ambientes de trabalho, com impactos positivos na redução do estresse e no aumento do desempenho cognitivo [Deschodt-Arsac et al., 2018; Van Der Zwan et al., 2019; Sutarto; Wahab; Zin, 2010].

Na educação e treinamento, o *biofeedback* pode melhorar atenção, cognição, gestão do estresse e eficiência na tomada de decisões, tornando-se um recurso valioso para situações desafiadoras e avaliação de desempenho [França; Pereira Neto; Soares, 2017]. Estudiosos pioneiros vêm explorando suas aplicações em RV para treinamento e cyberterapia, ampliando suas possibilidades terapêuticas e educativas.

5.4.3. Eletroencefalografia (EEG)

A EEG capta a atividade elétrica cerebral e permite inferir estados como atenção, relaxamento ou excitação mental. Pode ser utilizada em Realidade Virtual para controlar objetos (neurofeedback simbólico), adaptar a narrativa conforme o engajamento cerebral ou monitorar processos de aprendizagem em tempo real [Gruzelier, 2014].

O eletroencefalograma (EEG) humano é uma técnica consolidada e amplamente utilizada para avaliar a atividade elétrica cerebral [Rios-Pohl; Yacubian, 2016]. Sua aplicação envolve a colocação de eletrodos no escalpo do usuário para detectar pequenas correntes elétricas geradas pela atividade neural. Cada neurônio conduz cargas elétricas, e a soma dessas cargas resulta na formação de um campo elétrico flutuante ao redor do couro cabeludo, cuja diferença de potencial pode ser medida por sensores específicos [Crepaldi e De Faria, 2013].

O EEG possui alta resolução temporal, permitindo a observação da atividade cerebral em uma escala de milissegundos [Vallabhaneni et al., 2005]. Seus sinais apresentam amplitudes entre 10 e 100 μV , com frequências variando de 1 a 100 Hz, sendo classificadas nas seguintes bandas:

- a) Delta (1-4 Hz): Predominante em adultos durante o sono profundo, podendo indicar distúrbios neurológicos presentes em estados de vigília [Nicolas-Alonso e Gomez-Gil, 2012; Kubler et al., 2001].
- b) Teta (4-7 Hz): Comum em crianças e adultos em estados de sonolência ou meditação. A atividade excessiva pode estar associada a condições neurológicas [Nicolas-Alonso e Gomez-Gil, 2012].
- c) Alfa (8-12 Hz): Surge em momentos de relaxamento e quando os olhos estão fechados. Relaciona-se ao processamento visual e à memória, podendo ser suprimida por um aumento do esforço mental [Klimesch, 1997; Venables e Fairclough, 2009].
- d) Beta (12-30 Hz): Associada às atividades motoras, sendo simétrica em repouso e alterada durante movimentos ativos [Pfurtscheller e Neuper, 2001].

- e) Gama (30-100 Hz): Vinculada à percepção motora e sensorial. Seu papel na cognição é relevante para pesquisas em sistemas BCI (Brain-Computer Interface), pois melhora a transferência de informações e a especificidade espacial [Darvas et al., 2010; Miller et al., 2007].

O posicionamento dos eletrodos no couro cabeludo segue o sistema internacional 10-20, que define a disposição dos sensores em distâncias de 10% a 20% das referências anatômicas do crânio [Zetehaku et al., 2016]. Esse sistema conta com 21 eletrodos, dos quais 19 estão no couro cabeludo e 2 na região auricular (A1 e A2). Cada eletrodo é identificado por uma letra, representando a região cerebral correspondente, e por um número. Números ímpares indicam o hemisfério esquerdo e pares, o direito. Os eletrodos da linha média possuem apenas letras e são identificados pela segunda letra "Z".

Além da sua aplicação tradicional na medicina, o EEG é uma ferramenta essencial na pesquisa da neuroergonomia. Por ser possível sua utilização em ambientes reais e simulados, ele contribui para investigações sobre desempenho humano em cenários exigentes e estressantes. Segundo Gevins e Smith (2007), os padrões do EEG variam conforme a carga mental da tarefa, esforço cognitivo e níveis de fadiga.

A interpretação dos dados do EEG representa um desafio metodológico, pois requer a correlação entre os sinais elétricos cerebrais e características emocionais e funcionais. Estudos sugerem que a assimetria entre os hemisférios cerebrais pode servir como um indicador do estado emocional, embora os mecanismos neurais ainda não sejam plenamente compreendidos [Cacioppo, 2004; Coan; Allen, 2004]. Esse parâmetro é usado como marcador de neuroergonomia, auxiliando no monitoramento das emoções e na análise da neuroplasticidade cerebral, promovendo o desenvolvimento de habilidades emocionais em usuários de realidade virtual.

5.5. Integração entre Realidade Virtual e *Biofeedback*

A integração entre Realidade Virtual e *biofeedback* representa um avanço na criação de experiências imersivas mais inteligentes e centradas no usuário. Existem três modalidades principais para essa integração: passiva, ativa e interativa.

Na modalidade passiva, os dados fisiológicos do usuário são registrados e analisados, mas não influenciam o ambiente virtual. Esse modelo é amplamente utilizado em contextos de pesquisa e avaliação, permitindo estudar reações emocionais, padrões de atenção ou respostas de estresse sem modificar o cenário virtual. É ideal para diagnósticos, validação de interfaces e estudos comportamentais.

Na modalidade ativa, o ambiente virtual responde automaticamente ao estado fisiológico do usuário. Por exemplo, se for detectado um aumento na frequência cardíaca ou condutância da pele, indicando estresse, o cenário pode suavizar a iluminação, desacelerar a ação ou introduzir estímulos relaxantes. Esse tipo de adaptação torna as experiências mais empáticas e personalizadas, sendo especialmente útil em aplicações terapêuticas, como no tratamento de ansiedade ou reabilitação psicológica.

Já a modalidade interativa transforma os sinais fisiológicos em comandos diretos dentro do ambiente virtual. O rastreamento ocular captado por sensores pode ser usado para mover ou selecionar objetos, enquanto a respiração pode controlar a intensidade da luz ou a velocidade de uma simulação. Esse nível de integração cria experiências verdadeiramente imersivas e centradas no corpo do usuário.

Em conjunto, essas três modalidades tornam possível o desenvolvimento de sistemas de RV adaptativos, que reconhecem e respondem ao estado interno do usuário.

5.6. Aplicações Práticas do *Biofeedback* em ambientes virtuais

Em diversas áreas, o uso de sistemas de RV com *biofeedback* viabilizou novas formas de adaptação em ciclo fechado (onde o ambiente ou cenário se ajusta continuamente com base no estado fisiológico do usuário). Essa responsividade em tempo real tem demonstrado grande potencial para personalizar intervenções, aumentar a validade ecológica e melhorar tanto os resultados psicológicos quanto a experiência do usuário em aplicações de RV. Vamos explorar alguns campos de aplicação do *biofeedback* em ambientes virtuais: educação e treinamento, saúde e reabilitação, pesquisa e experiência do usuário.

5.6.1. Educação e Treinamento

Aplicações educacionais e de treinamento devem ser submetidas a uma avaliação sistemática da experiência do usuário e ser rigorosamente avaliadas quanto à sua eficácia na promoção da aprendizagem ou aquisição de habilidades, assegurando, assim, a transferência bem-sucedida de conhecimentos e competências.

Integrando processos de treinamento com tecnologias imersivas e de monitoramento de dados biométricos, os instrutores podem melhor compreender as condutas dos treinandos, melhor conhecendo como estes reagem aos estímulos externos.

O Eye Tracking permite rastrear onde o treinando está focando sua atenção, se ele observou - ou não - algum risco operacional ou mesmo se deixou de verificar itens e condições de trabalho.



Figura 5.19. Avaliação em Realidade Virtual de Trabalho em Altura (Cordeiro 2024)

O monitoramento cardíaco e eletroencefalograma permitem detectar níveis de atenção, estresse, distrações, fadiga e outros dados que, combinados, permitem compreender melhor as reações e, em boa medida, as situações de trabalho simuladas, os acidentes simulados e suas causas [Cordeiro et al., 2024, 2025].

Assim sendo, ambientes de Realidade Virtual com *biofeedback* podem identificar queda de atenção e propor reforços didáticos, adaptações dinâmicas e uma melhor avaliação do processo de treinamento em geral. Em treinamentos técnicos, pode-se avaliar se o profissional está sob estresse e adaptar a tarefa. Isso permite jornadas de aprendizado personalizadas, mais eficazes e humanizadas.

5.6.2. Saúde e Reabilitação

Sistemas de Realidade Virtual com Variabilidade da Frequência Cardíaca e EEG têm sido aplicados em tratamentos de ansiedade, fobias, TDAH e reabilitação motora [Friedman, 2022]. A imersão promove engajamento, enquanto o *biofeedback* permite ao paciente visualizar e controlar seus estados internos, promovendo maior autonomia e bem-estar.

Além da integração de sinais fisiológicos como variabilidade da frequência cardíaca e EEG, experiências de Realidade Virtual Olfativa (RVO) têm demonstrado potencial terapêutico para o tratamento e prevenção do Transtorno de Estresse Pós-Traumático (TEPT). Ao incorporar odores específicos a ambientes virtuais imersivos, é possível acessar memórias autobiográficas e emoções com maior precisão, promovendo um envolvimento emocional controlado durante as sessões [Herz, 2021]. Quando integradas com *biofeedback*, essas experiências permitem que pacientes regulem suas respostas fisiológicas em tempo real, favorecendo o reaprendizado emocional em contextos seguros e graduais.

A percepção em tempo real de seus próprios estados emocionais e fisiológicos, por meio de métricas como batimentos cardíacos, condutância da pele e padrões de EEG, pode ser utilizada para ajustar os estímulos sensoriais e a complexidade das tarefas propostas nos cenários de RV. Essa adaptabilidade contribui para uma

abordagem mais personalizada e ajuda a modular o nível de excitação ou ansiedade durante terapias de exposição em RV, otimizando os resultados terapêuticos em distúrbios relacionados ao trauma.

5.6.3. Pesquisa e Experiência do Usuário

O uso de *biofeedback* em ambientes de RV permite acessar indicadores fisiológicos em tempo real, ampliando a compreensão sobre o comportamento e os estados internos dos usuários durante a interação. Esses dados oferecem uma visão objetiva sobre aspectos subjetivos da experiência, como engajamento, desconforto, fadiga mental ou prazer, e servem como base para decisões de design mais precisas e centradas no usuário. Além disso, permitem o desenvolvimento de experiências adaptativas, que ajustam o conteúdo e o ritmo com base nas respostas do usuário, tornando os testes mais eficientes e contribuindo para o avanço da Experiência do Usuário (UX) em ambientes imersivos.

Pesquisadores utilizam as tecnologias de *biofeedback* em Realidade Virtual para medir a presença, a sobrecarga cognitiva e a resposta emocional em experiências imersivas [Slater & Sanchez-Vives, 2016]. Esses dados são valiosos para projetar sistemas mais responsivos, confortáveis e inclusivos. A Figura 5.20 ilustra a integração de VR e rastreamento ocular em testes de usabilidade e a experiência do usuário na indústria automotiva.

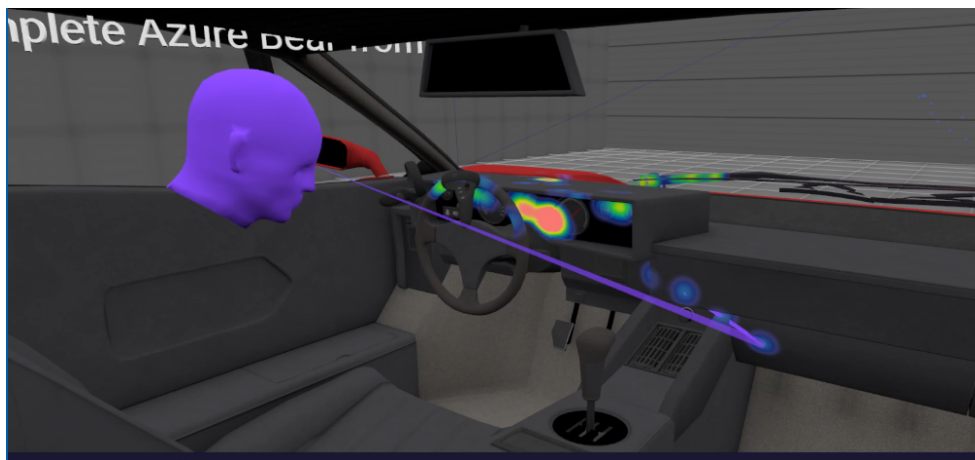


Figura 5.20. Avaliação de UX por RV e UX na Automotiva (Autoria própria)

5.7. Considerações Éticas e Finais

A integração entre Realidade Virtual e *biofeedback* exige cuidado com aspectos éticos e legais, sobretudo no que tange à privacidade dos dados fisiológicos. É fundamental garantir consentimento informado, segurança dos dados e uso transparente das informações coletadas.

Adicionalmente, é recomendado o cuidado para evitar incidentes e acidentes durante a aplicação de tecnologias de RV em combinação com elementos hápticos e físicos, mitigando ou eliminando riscos de tontura, quedas ou excessiva estimulação.

A perspectiva é que sistemas imersivos com sensores fisiológicos tornem-se cada vez mais comuns em contextos de formação, saúde e entretenimento. Essa convergência inaugura uma nova geração de tecnologias centradas no humano, que consideram não apenas a interação mecânica com a máquina, mas também os estados subjetivos que moldam a experiência humana.

Outro aspecto ético relevante é o impacto psicológico da exposição a ambientes imersivos que utilizam *biofeedback*. Como essas tecnologias podem induzir estados emocionais intensos, como estresse, euforia ou ansiedade, é essencial que profissionais capacitados estejam presentes para monitorar a experiência e intervir, se necessário. A ausência de supervisão ou o uso indiscriminado desses sistemas pode gerar consequências adversas, como gatilhos emocionais inesperados ou reforço de padrões cognitivos disfuncionais, especialmente em contextos terapêuticos e de reabilitação.

Deve-se considerar também a autonomia e a equidade no acesso às tecnologias. À medida que sistemas com *biofeedback* em RV se tornam mais sofisticados, corre-se o risco de concentrar tais soluções em contextos privilegiados, ampliando disparidades no acesso à saúde mental e ao bem-estar. A ética na aplicação dessas tecnologias também passa pela inclusão, pelo design acessível e pela atenção a populações vulneráveis que podem se beneficiar significativamente desses recursos, desde que adaptados às suas necessidades.

References

- Almeida, L. G. G. et al. (2023) “Innovating Industrial Training with Immersive Metaverses: A Method for Developing Cross-Platform Virtual Reality Environments” *Applied Sciences*, v. 13, n. 15, p. 8915, 2 ago. 2023.
- Alves, A. O. (2025) Turismo imersivo em fazendas de cacau: diretrizes para a criação e desenvolvimento de conteúdos em 360°. Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia). Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2025.
- Azuma, R. T. A. (1997) Survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, v. 6, n. 4, p. 355–385, 1997.
- Barbosa, B. M., Ribeiro, M. W., Berretta, L. O., Carvalho, S. T. (2024) “DiagnosTEA: a digital game as a tool for the diagnosis/therapy of Autism Spectrum Disorder” In: *Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGAMES) - Trilha Saúde, 2024, Manaus. Anais do SBGAMES 2024. Porto Alegre: SBC, 2024. p. 1707-1718.*
- Marques, B., Moreira, D., Neves, M., Brás, S., Fernandes, J. M. (2025) “Battle Against Your Fears: Virtual Reality Serious Games and Physiological Analysis for Phobia Treatment” *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 45, no. 1, pp. 67-75, Jan.-Feb. 2025
- Cardoso, A.; Lamounier Jr, E. (2006) “A Realidade Virtual na Educação e Treinamento” In: *Tori, R.; Kirner, C.; Siscoutto, R. Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual*

- e Aumentada. Livro do Pré-simpósio, VIII Symposium on Virtual Reality. Porto Alegre: Editora SBC, 2006.
- Cordeiro, A. et al. (2025) “Immersive Technologies to Height Safety: Training Evaluation and Insights” 2025 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and eXtended and Virtual Reality (AIxVR), Lisbon, Portugal, 2025, pp. 435-440, doi: 10.1109/AIxVR63409.2025.00082.
- Cordeiro, A., Santos, F., Winkler, I. (2023) “Effectiveness of industrial training using virtual reality to mitigate risks associated with the work environment: a literature review” International Symposium on Innovation and Technology, Engineering and the Future of the Industry, 2023. ISSN: 2357-759.
- Cordeiro, A., Almeida, L., Neves, C., Leite, R., Catapan, M., Siqueira, A., Silva, T., Winkler, I. (2024) IX International Symposium on Innovation and Technology, Innovation and Global Transformations for a Sustainable World - 2024. ISSN: 2357-759.
- Coronado, A. ; Carvalho, S.; Berretta, L. O. (2024) Escape-INF-VR: An Accessible VR Escape Game Proposal for Blind Individuals. In: IFIP International Conference on Entertainment Computing (ICEC), 2024, Manaus. Proceedings of the Entertainment Computing - ICEC 2024: 23rd IFIP TC 14 International Conference , ICEC 2024, Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer, 2024. v. 15192. p. 337-341.
- Dalgarno, B.; Lee, M. J. W. (2010) What are the learning affordances of 3-D virtual environments? British Journal of Educational Technology, 41(1), 10-32. 2010.
- Deschodt-Arsac, V.; Lalanne, R.; Spiluttini, B.; Bertin, C.; Arsac, L.M. (2018) Effects of Heart Rate Variability Biofeedback Training in Athletes Exposed to Stress of University Examinations. PLoS ONE, 13(7): e0201388. 2018.
- Dey, A.; Chatburn, A.; Billinghamurst, M. (2019) Exploration of an EEG-Based Cognitively Adaptive Training System in Virtual Reality. 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), Osaka, Japan, 2019, pp. 220-226.
- França, A. C. P.; Soares, M. (2017) Review of Virtual Reality Technology: An Ergonomic Approach and Current Challenges. 8th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE) and the Affiliated Conferences, 2017.
- Friedman, D. (2022) Virtual Reality Therapy for Anxiety, Depression and Stress. Springer, 2022.
- Gomes, PV et al. (2023) The use of artificial intelligence in interactive virtual reality adaptive environments with real-time biofeedback applied to phobias psychotherapy. In: VI Congreso Xove TIC: impulsando el talento científico. Outubro, 2023, A Coruña. Universidade da Coruña, Servizo de Publicacións, 2023. p. 275-279.
- Gruzelier, J. H. (2014) EEG-neurofeedback for optimising performance. Progress in Brain Research, 215, 193–213. 2014.

- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., & Van de Weijer, J. (2011) Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures. Oxford University Press, 2011.
- Jerald, J. (2015) The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality. Association for Computing Machinery and Morgan & Claypool, 2015.
- Kent, Lee et al. (2021) Mixed reality in design prototyping: A systematic review. Design Studies, v. 77, p. 101046, nov. 2021.
- Kritikos, Jacob; ALEVIZOPOULOS, Georgios; KOUTSOURIS, Dimitris. (2021) Personalized virtual reality human-computer interaction for psychiatric and neurological illnesses. Frontiers in Human Neuroscience, v. 15, p. 596980, 2021.
- Krauβ, Veronika et al. (2021) Research and Practice Recommendations for Mixed Reality Design – Different Perspectives from the Community. In: VRST '21: 27TH ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, Osaka Japan: ACM, 8 dez. 2021.
- Lantyer, A. S.; Viana, M. B.; Padovani, R. C. (2013) Biofeedback no Tratamento de Transtornos Relacionados ao Estresse e à Ansiedade: Uma Revisão Crítica. Psico-USF, Bragança Paulista, v. 18, n. 1, p. 131 – 140, jan/abr 2013.
- Lehrer, P. M.; Gevirtz, R. (2014) Heart Rate Variability Biofeedback: How and Why Does it Work? Frontiers in Psychology, Vol 5, Article 756, July 2014.
- Luo, H., Li, G., Feng, Q., Yang, Y.; Zuo, M. (2021) Virtual reality in K-12 and higher education: A systematic review of the literature from 2000 to 2019. Journal of Computer Assisted Learning, 887–901. 2021.
- Makransky, G., Terkildsen, T. S., Mayer, R. E. (2020) Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning. Learning and Instruction, 60, 225-236. 2020.
- Mark Billingham. Short course on the Psychology of XR at the University of South Australia.
- Mendonça, T. S., (2022) Desenvolvimento de um serious game de educação em saúde bucal com participação de especialistas e usuários. 2022. Dissertação - Universidade Federal de Goiás.
- Merchant, Z., Goetz, E. T., Cifuentes, L., Keeney-Kennicutt, W., Davis, T. J. (2014) Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis. Computers & Education, 70, 29-40. 2014.
- Nasri, Mahsa. (2025) Towards Intelligent VR Training: A Physiological Adaptation Framework for Cognitive Load and Stress Detection. arXiv preprint, arXiv:2504.06461, 2025.
- Norris, K.; Spicer, T.; Byrd. (2019) Virtual reality: the new pathway for effective safety training. Professional Safety, 64(6):36–39, 2019.

- Ouerghemmi, C., Ertz, M., Bouslama, N., Tandon, U. (2023) “The impact of virtual reality (vr) tour experience on tourists’ intention to visit”, *Information*, v. 14, n. 10, p. 546.
- Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., Wohlgenannt, I. (2020) A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, 147, 103778. 2020.
- Roussou, M. (2004) Learning by doing and learning through play: An exploration of interactivity in virtual environments for children. *Computers in Entertainment (CIE)*, 2(1), 1-23. 2004.
- SENAI CIMATEC. (2025) Immersive Technologies for a Sustainable and Human-centric Industry 5.0 Lab. [Apresentação institucional]. Salvador, 10 abr. 2025.
- Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017) An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Frontiers in Public Health*, 5, 258. 2017.
- Silva, A. D. S. D.; Valenciano, P. J.; Fujisawa, D. S. (2017) Atividade lúdica na fisioterapia em pediatria: Revisão de literatura. *Revista Brasileira de Educação Especial*, 23:623 – 636, 2017.
- Slater, M., & Sanchez-Vives, M. V. (2016) Enhancing Our Lives with Immersive Virtual Reality. *Frontiers in Robotics and AI*, 3, 74. 2016.
- Slater, Mel, et al. (2022) A separate reality: An update on place illusion and plausibility in virtual reality. *Frontiers in Virtual Reality*, 3, 914392. 2022.
- Slater, Mel et al. (2022) A separate reality: an update on place illusion and plausibility in virtual reality. *Frontiers in Virtual Reality*, v. 3, 2022.
- Smith, S. R., & Hamilton, M. (2015) The efficacy of virtual reality technologies for educational purposes: A case study of special needs education. *Journal of Educational Technology*, 12(3), 15-25. 2015.
- Souza, CHR, Oliveira, DM, Berretta, LO, Carvalho, ST. (2021) Jogos Sérios e Elementos de Jogos na Promoção de Engajamento em Contextos de Telerreabilitação de Pacientes. In: *Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital, 2021, Brasil. Anais Estendidos do XX Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGames Estendido 2021)*. p. 896.
- Sutarto, A. P.; Wahab, M. N. A.; Zin, N. M. (2010) Heart Rate Variability (HRV) Biofeedback: A New Training Approach for Operator’s Performance Enhancement. *Journal of Industrial Engineering and Management*, v3n1, p176-198, 2010.
- Tori, R.; Hounsell, M. S.; Kirner, C. (2018) Realidade Virtual. In: Tori, R.; Hounsell, M. S. (Org.) *Introdução à Realidade Virtual e Aumentada*. Porto Alegre: SBC, 2018.
- Tori, R.; Kirner, C. (2006) Fundamentos de Realidade Virtual. In: Tori, R.; Kirner, C.; Siscoutto, R. *Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada*. Livro do Pré-simpósio, VIII Symposium on Virtual Reality. Porto Alegre: Editora SBC, 2006.

- Van Der Zwan, J. E. et al. (2019) The Effect of Heart Rate Variability Biofeedback Training on Mental Health of Pregnant and Non-Pregnant Women: A Randomized Controlled Trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16, 1051, 2019.
- Wang, Peng et al. (2020) A comprehensive survey of AR/MR-based co-design in manufacturing. *Engineering with Computers*, v. 36, n. 4, p. 1715–1738, 2020.
- Wang, Peng et al. (2021) AR/MR Remote Collaboration on Physical Tasks: A Review. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, v. 72, p. 102071, 2021.
- Wanderley, L, Soares, S, Santos, SLV, Carvalho, ST. (2021) Desenvolvimento de um jogo para hipertensão utilizando a metodologia Design Science Research: equilibrando a Ciência e a Arte. In: *Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*, 2021, Brasil. *Anais Estendidos do XX Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGames Estendido 2021)*. p. 857.
- Weber, R, Dash, A, Wriessnegger, SC. (2024) Design of a Virtual Reality-Based Neuroadaptive System for Treatment of Arachnophobia. *2024 IEEE International Conference on Metrology for eXtended Reality, Artificial Intelligence and Neural Engineering (MetroXRINE)*, St Albans, United Kingdom, 2024, pp. 255-259.
- Zeier, H. (1984) *Biofeedback and Self-Regulation*, 9: 497, 1984
- Zelis, H, Kubanka, T, Williams, L. (2025) Adaptive Virtual Reality Exposure Therapy with Biofeedback. *SoutheastCon 2025*, Concord, NC, USA, 2025, pp. 1059-1060, doi: 10.1109/SoutheastCon56624.2025.10971438.