

Do Diagnóstico à Solução: Avaliando Acessibilidade e Usabilidade de um Tour Virtual para Usuários Surdos Pré-Linguísticos

Leonardo Santos Oliveira^{1,2}, Simone Bacellar Leal Ferreira¹, Carolina Sacramento^{1,2}, Sara E. Lobato dos Remedios^{1,2}, Aline da Silva Alves², Fernanda Sabino¹

¹PPGI – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO)
Av. Pasteur 456, Urca – Rio de Janeiro – Brazil

²ICICT – Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz)
Av. Brasil 4365, Manguinhos – Rio de Janeiro – Brazil

{leonardo.so, sara.lobato, fernanda.sabino}@edu.unirio.br, {simone, carolina.sacramento }@uniriotec.br, leonardo.santos, alinedasilva@fiocruz.br

Abstract. Introduction: This article presents the usability and accessibility evaluation of a semi-immersive Virtual Tour Application (VTA) focused on prelingual deaf individuals. **Objective:** Understand the difficulties they face when using a VTA and to propose solutions to make the experience easier and more intuitive. **Methodology or Steps:** The research involved heuristic inspection with severity classification and user testing. **Results:** A total of 34 usability issues and three accessibility issues were identified, with solutions implemented in a functional prototype. Features such as full translation of all textual content into Brazilian Sign Language (Libras), orientation signs, dynamic help, among others, proved effective in supporting user comprehension and autonomy. The results highlight the relevance of accessible design in virtual environments for the inclusion of the deaf community, and the urgency for further research focusing on this type of product.

Keywords: Semi-Immersive Virtual Tour, Pre-Linguistic Deaf, Accessibility, Usability, Virtual Reality

Resumo. Introdução: Este artigo apresenta a avaliação de usabilidade e acessibilidade de uma Aplicação de Tour Virtual (ATV) semi-imersiva com foco em pessoas surdas pré-lingüísticas. **Objetivo:** Entender quais dificuldades pessoas surdas enfrentam ao usar uma ATV e apresentar soluções para tornar essa experiência mais fácil e intuitiva. **Metodologia ou Etapas:** A pesquisa envolveu inspeção heurística com classificação de gravidade e testes com usuários. **Resultados:** Foram identificados 34 problemas de usabilidade e três de acessibilidade, com soluções implementadas em protótipo funcional. Recursos como tradução de todo o conteúdo textual para Libras, placas de orientação, ajuda dinâmica, dentre outros mostraram-se eficazes para apoiar a compreensão e a autonomia dos usuários. Os resultados destacam a relevância do design acessível em ambientes virtuais na inclusão da comunidade surda, e a urgência de mais pesquisas com foco neste tipo de produto.

Palavras-Chave: *Tour Virtual Semi-imersivo, Surdo Pré-lingüístico, Acessibilidade, Usabilidade, Realidade Virtual.*

1. Introdução

Desde o nascimento, a audição desempenha um papel fundamental na compreensão do mundo. A capacidade de se comunicar contribui para a participação ativa da pessoa na comunidade. No mundo, existem mais de 1,5 bilhão de indivíduos com algum grau de perda auditiva [World Health Organization 2021]. Entre essas pessoas estão as surdas pré-lingüísticas, que nasceram surdas ou adquiriram a surdez antes do desenvolvimento da linguagem oral. Essa condição pode afetar significativamente a compreensão da língua portuguesa, uma vez que a Língua de Sinais se torna sua língua primária [Corradi 2007], [Alves 2012].

No Brasil, quase 2,5 milhões de pessoas (1,2% da população) apresentam alguma dificuldade auditiva, mesmo com o uso de aparelhos auditivos, o que evidencia a importância de promover a inclusão deste público aos produtos e dispositivos digitais [Brasil 2023].

A realidade virtual (RV) é um ambiente digital que pode ser experimentado de forma interativa, proporcionando uma sensação de realidade [Jerald 2015], [Tori e Da Silva Hounsell 2020]. As aplicações de tour virtual semi-imersivas (ATVs), podem ser consideradas uma extensão da tecnologia de RV [Fu et al. 2022], e têm sido amplamente utilizadas como alternativa à visitação presencial. Como exemplo, temos ATVs desenvolvidas para visitas virtuais em museus, fábricas, espaços culturais, ambientes restritos dentre vários outros. Por ser semi-imersiva, ela não isola totalmente o usuário do ambiente real, como acontece quando se utiliza óculos de realidade virtual [Lee e Wong 2014] [Parreiras 2021]. Esses produtos possuem imenso potencial comunicativo e informativo, tornando-se uma opção viável para que instituições públicas e privadas se comuniquem com seu público prioritário de forma interativa [Melo 2021].

De forma geral, uma ATV envolve uma variedade de informações em formato de texto, sendo importante disponibilizar alternativas não textuais para assegurar o acesso ao conteúdo para as pessoas surdas. Assim, esta pesquisa tem o objetivo de identificar e analisar as barreiras enfrentadas por usuários surdos ao interagirem com uma ATV, e propor soluções para mitigar os problemas identificados de modo a propiciar uma interação mais intuitiva.

Nesse contexto, foram realizadas avaliações de usabilidade e acessibilidade de uma ATV, por meio de inspeções por especialistas e testes com usuários, considerando a conformidade com heurísticas específicas para RV semi-imersiva [Parreiras 2021], bem como com diretrizes e recomendações de acessibilidade voltadas a surdos pré-lingüísticos [Flor 2016]. Os testes foram realizados por meio de questionários, entrevistas e tarefas aplicadas a usuários surdos pré-lingüísticos e ouvintes, a fim de possibilitar comparações. Todo o processo envolvendo os usuários surdos contou com o apoio de intérpretes da Língua Brasileira de Sinais (Libras).

É nesse cenário que a pesquisa se mostra relevante para a área de Interação Humano-Computador (IHC), especialmente no campo da acessibilidade, contribuindo para que futuras ATVs possam se tornar mais atrativas e acessíveis ao maior público possível. A proposta visa, principalmente apoiar a inclusão das pessoas surdas pré-

linguísticas por meio da implementação de recursos de acessibilidade que atendam suas necessidades específicas.

Como delimitação, nesta pesquisa analisou-se a usabilidade e acessibilidade de um protótipo baseado em uma ATV desenvolvida pelo pesquisador, e avaliadas por surdos pré-lingüísticos autodeclarados com perda auditiva profunda e ouvintes sem deficiência visual total. Os conteúdos textuais foram traduzidos somente para Libras.

Este artigo está organizado em cinco seções, incluindo esta Introdução. A seção 2 apresenta o referencial teórico, seguida pela seção 3, onde é descrito o método de pesquisa. A seção 4 apresenta os resultados e discussões. Por fim a seção 5 traz as considerações finais do artigo.

2. Referencial Teórico

O termo “Perda auditiva” ou “surdez” refere-se à diminuição da capacidade de ouvir, podendo variar de leve a profunda e afetar um ou ambos os ouvidos. Segundo a Organização Mundial da Saúde, cerca de uma em cada dezesseis pessoas no mundo apresenta perda auditiva com impacto significativo em suas vidas [World Health Organization 2021], [World Health Organization 2020]. Pessoas com perda leve à grave podem se beneficiar de dispositivos como aparelhos auditivos, implantes cocleares e legendas, utilizando, em muitos casos, a linguagem oral e aquelas com surdez profunda frequentemente adotam a língua de sinais como principal forma de comunicação [World Health Organization 2021], [World Health Organization 2020], o que pode dificultar a compreensão de estruturas linguísticas complexas [Couto 1985 apud Alves 2012]. Fatores como a idade e o estágio de desenvolvimento em que a surdez se manifestou influenciam diretamente no aprendizado da língua oral [Cavalcante 2015]. Assim, muitos surdos enfrentam dificuldades para compreender textos em português [Corradi 2007], [Alves et al. 2013].

A surdez pré-lingüística, também chamada de pré-lingual, afeta indivíduos que nasceram surdos ou perderam a audição antes do desenvolvimento da linguagem. Sem memórias auditivas, essas pessoas têm seu desenvolvimento impactado, já que a audição é essencial para a aprendizagem, socialização e aquisição da linguagem [Sacks 1998], [Alves 2012], [Cavalcante 2015].

A Realidade Virtual (RV) é um ambiente digital interativo que proporciona uma sensação de realidade. Essa experiência é viabilizada por dispositivos que permitem a visualização e a interação com o ambiente simulado [Jerald 2015], [Tori e Da Silva Hounsell 2020]. A RV semi-imersiva, ou parcialmente imersiva, refere-se a experiências em que o usuário interage com o ambiente virtual através de telas de computadores ou dispositivos móveis, mantendo contato com o ambiente físico ao seu redor [Lee e Wong 2014], [Parreiras 2021].

As Aplicações de Tour Virtual (ATVs) são uma extensão da RV, permitindo ao usuário explorar ambientes digitais com imersão, interação e percepção multidimensional. Elas são compostas por percursos pré-estabelecidos com diversas possibilidades de navegação, utilizando recursos visuais como panoramas, fotografias e vídeos [Habeyche et al. 2012], [Sun et al. 2021], [Fu et al. 2022]. A construção de uma ATV pode envolver modelagem tridimensional ou o uso de imagens panorâmicas equirretangulares (360°), que simulam uma visão esférica do ambiente, permitindo a

visualização completa a partir de um ponto central, proporcionando uma experiência imersiva em um ambiente virtual [De Fino et al. 2022], [Bernal e Vivó 2016].

Segundo Parreiras (2021), não foram identificadas heurísticas de usabilidade voltadas exclusivamente para o desenvolvimento de ambientes de RV semi-imersiva. Com base nisso, as heurísticas propostas por ele representam uma composição atualizada e mais abrangente, especialmente direcionada a esse tipo de aplicação. O autor realizou um estudo no qual revisou diversas heurísticas relacionadas à área de RV, utilizando-as como fundamento para o desenvolvimento de um conjunto próprio, adaptado às particularidades das experiências semi-imersivas (Quadro 1). Para melhor experiência na navegação com os quadros, acesse: <http://nau.uniriotec.br/index.php/tabelas-tour-ihc2025>.

Quadro 1 - Heurísticas para ambientes de RV semi-imersivas.

ID	Nome/Categoria	Definição
Fatores gerais		
H-1	Facilidade de uso	O sistema de RV deve ser fácil de utilizar, fácil de aprender, e fácil de entender suas normas, e regras. Simplicidade – A interface do sistema e os controles de hardware devem ter um design e navegação simples e intuitivos. Assim como os elementos e informações contidos no ambiente de RV. Clareza - O ambiente virtual deve ter clareza, e oferecer elementos que sejam de fácil compreensão para o usuário.
H2	Navegação	O sistema de RV deve fornecer ferramentas e recursos para que o usuário possa se localizar dentro dele, saber sua posição atual, e possa encontrar caminhos, ou retornar a lugares onde já esteve.
H3	Precisão e controle do usuário	O usuário precisa sentir que controla o ambiente, e esse controle deve ocorrer o mais natural possível, e da forma mais rápida (imediata) possível. O sistema deve apresentar o máximo de precisão com respeito às ações do usuário, simulações físicas, e animações. Deve responder rapidamente (imediatamente) às ações do usuário, possuir física semelhante ao mundo real, e animações bem executadas e condizentes com o mundo real também.
Fatores técnicos		
H4	Erros do sistema	O sistema de RV deve promover uma experiência o máximo possível livre de falhas de sistema (software) como travamentos, atrasos, e movimentos estranhos, ou elementos comportando-se de maneira diversa.
H5	Minimizar a alternância entre o real e o virtual	O sistema deve ser capaz de ser autossuficiente para todos os usos, mantendo todas as tarefas e informações necessárias para o usuário dentro do próprio ambiente da RV, em vez de criar tarefas ou informações, que o usuário só poderá executar ou acessar caso tenha que se desconectar do ambiente de RV.
H6	Fidelidade representacional	Os elementos representados no ambiente virtual 3D devem possuir qualidade visual, gráfica, e serem fiéis aos seus representantes reais, ou imaginários. Deve-se ter qualidade de modelos 3D, texturas, materiais, e realismo nestes elementos.
H7	Interação	O sistema de RV deve apresentar elementos interativos, e possuir mecanismos que possibilitem ao usuário interagir com estes elementos, com o máximo de naturalidade possível, e o mais próximo possível de como seria no mundo real. O ambiente de RV deve proporcionar estímulos para mais de um sentido, principalmente visão, audição e tato e de preferência, concomitantemente.
H8	Flexibilidade	O sistema de RV deve fornecer recursos para customização da experiência para diferentes usuários, como por exemplo, a customização de atalhos, ou de elementos da interface, que facilitem a utilização por usuários com características diferentes.
Fatores cognitivos		
H9	Redução da carga cognitiva	O ambiente de RV não deve sobrecarregar a memória de trabalho do usuário, apresentando um excesso e informações de uma vez só. As informações fornecidas em forma de texto devem ser legíveis, possuir hierarquia e serem organizadas.

Fatores afetivos		
H10	Aprendizagem facilitada e percebida	O sistema de RV deve fornecer dicas, pistas, ou informações que auxiliem o usuário a ter a percepção de que aprendeu algo. O conteúdo de informações apresentado ao usuário, para qualquer fim, deve ser apresentado de forma lógica, coerente, apresentando uma sequência, e da parte mais fácil para a mais difícil.
H11	Gamificação e fluxo	Tarefas bem definidas, que apresentem desafios, e com objetivos claros, além de sensação de controle, são elementos que estimulam o fluxo. Esta heurística trata de como analisar a sensação de entrar em fluxo no ambiente virtual. O ambiente de RV deve se apropriar de mecânicas e dinâmicas de jogos, para a realização das tarefas, atividades e desafios.
Fatores visuais		
H12	Consistência e persistência dos padrões	O ambiente virtual deve ter consistência em todos os seus aspectos, de uma maneira geral. Deve apresentar padrões que podem ser previstos, pela forma como fluem seguindo um aspecto coerente e consistente.
H13	Pistas visuais - "cues"	As dicas visuais, ou “cues” (pistas) utilizam recursos que sinalizam ou sobre diversos aspectos dentro do ambiente de RV, e ressaltam elementos mais importantes, destacando as informações mais importantes para o usuário em determinado momento.
Feedback		
H14	Feedback do aprendizado	Para sistemas de RV que envolvam algum aprendizado, seja de habilidade, conhecimento prático, ou teórico, é importante que o sistema possua mecanismos para dar um feedback deste aprendizado para o usuário.
Erros e ajuda		
H15	Ajuda e documentação	O Sistema de RV deve ter um sistema de ajuda, com informações que auxiliem o usuário a entender o ambiente de RV e solucionar problemas por conta própria, aumentando sua autossuficiência e autoeficácia.
H16	Conserto de erros	A tolerância a erros se divide em dois aspectos: a prevenção de erros, e a recuperação de erros. Ambos auxiliam o usuário a poder evitar e recuperar-se de situações problemáticas.

Foram identificados somente três trabalhos correlatos por meio de revisão da literatura realizada entre os meses de dezembro de 2023 e janeiro de 2024. O estudo de Rojas (2020) aborda a aplicação das diretrizes WCAG (*Web Content Accessibility Guidelines*) 2.1 na criação de uma ATV do Museu Arqueológico e Antropológico de *Apurímac*, com foco na acessibilidade para pessoas com deficiência visual. A avaliação combinou validadores automáticos e inspeção manual, além de testes com três usuários cegos utilizando o leitor de tela *ChromeVox*. Apesar de apresentar resultados positivos, o estudo não contemplou recursos voltados à acessibilidade para pessoas surdas, como a tradução para língua de sinais.

Zancan et al. (2018), por sua vez, propõem um modelo conceitual com recomendações de acessibilidade em ambientes virtuais, incluindo diretrizes para usuários cegos, surdos e idosos. Um museu virtual sobre a história da cidade de Bandeirantes no Paraná serviu como modelo para a aplicação dessas diretrizes, sendo construído a partir da integração de normas como WCAG e eMAG (Modelo de Acessibilidade de Governo eletrônico), visando apoiar desenvolvedores na criação de experiências mais acessíveis, porém, não realiza testes com usuários.

No trabalho conduzido por Barbosa (2018), é investigado o uso de realidade aumentada em museus como recurso de acessibilidade para pessoas com deficiência auditiva. O protótipo de aplicativo para *tablet* desenvolvido permite a tradução de textos para Libras, inclusão de imagens de apoio e interação com objetos 3D, sendo avaliado por meio de testes com usuários, especialistas e o instrumento *Self-Assessment Manikin*.

Embora o foco e os métodos se aproximem desta pesquisa, o estudo de Barbosa está voltado para tecnologias móveis com realidade aumentada, enquanto o presente trabalho concentra-se em uma ATV semi-immersiva.

A presente pesquisa se diferencia por propor a realização de avaliações heurísticas, e testes com usuários surdos pré-lingüísticos, visando mitigar as barreiras por meio de soluções que tornem ATVs acessíveis a esse público, lacuna não plenamente abordada nos estudos analisados.

3. Método de Pesquisa

Esta pesquisa tem característica exploratória com uma abordagem qualitativa, conduzida por meio de um estudo exploratório, permitindo uma proximidade do pesquisador com os fenômenos investigados. O método utilizado para alcançar o objetivo geral consistiu em seis etapas: 1) Revisão da Literatura 2) Definição e Seleção do Público-Alvo; 3) Definição da ATV a Ser Testada; 4) Definição dos Métodos de Avaliação; 5) Cuidados Éticos e 6) Realização dos Testes.

3.1. Etapas da Pesquisa

1) Revisão da Literatura

Essa etapa buscou aprofundar o conhecimento sobre o tema por meio da análise do que já foi pesquisado, com o objetivo de gerar novas contribuições científicas. Para isso, foi feita uma revisão *ad-hoc* da literatura e um mapeamento sistemático (MSL) em oito fontes acadêmicas formais e uma fonte não formal (literatura cinza), além de dois repositórios de patentes para investigar o estado da técnica. Para a realização do MSL, foram adotadas as diretrizes sugeridas por Petersen et al. (2015) e Kitchenham e Charters (2007). Assim, foram identificados somente os três trabalhos correlatos.

2) Definição e Seleção do Público-Alvo

A definição do público-alvo levou em conta a existência de um grupo de colaboradores surdos na Fiocruz. Os critérios de seleção dos participantes surdos incluíram: ser surdo profundo pré-lingüístico, ter a Libras como primeira língua, possuir no mínimo experiência básica em informática, escolaridade mínima do ensino fundamental, não possuir deficiência visual total e idade superior a 18 anos.

Para fins de comparação, também foram observados usuários ouvintes com características semelhantes, realizando as mesmas tarefas.

3) Definição da ATV a Ser Testada

Escolheu-se a ATV do Castelo Mourisco¹ ou Castelo Fiocruz como objeto de estudo. A escolha se justifica pelo compromisso da instituição com a inclusão de pessoas surdas por meio de políticas de acessibilidade e a facilidade de acesso do pesquisador ao código fonte do objeto de estudo, o que possibilitou o desenvolvimento de um protótipo para testes com usuários.

4) Definição dos Métodos de Avaliação

Foram definidos dois métodos: a) inspeção e b) teste (observação) com usuários.

¹ https://fiocruz360.icict.fiocruz.br/vtcastelofiocruz_v1

a) Inspeção: para identificar os problemas de usabilidade da aplicação, foram realizadas inspeções *ad-hoc* com base nas heurísticas de usabilidade para (RV) semi-imersivas [Parreiras 2021], ajustadas ao tipo de aplicação analisada. Foi criada uma planilha com abas que incluíam a classificação, descrição, definição e explicação das heurísticas selecionadas, além de um *checklist* que auxiliou na consulta, na contagem e no registro das observações sobre os problemas identificados em cada heurística.

Já a inspeção de acessibilidade se baseou nas diretrizes de acessibilidade para surdos pré-lingüísticos [Flor 2016]. Embora sejam originalmente direcionadas a *websites*, cuja dinâmica de utilização diferencia do produto testado, o pesquisador entendeu que essas recomendações se aplicavam amplamente, uma vez que compartilhavam características informacionais semelhantes. Outro fator que influenciou essa escolha foi a constatação de que ofereciam maior quantidade de diretrizes específicas para a acessibilidade de pessoas com surdez do que as propostas pelo WCAG e e-MAG.

Segundo a recomendação de que a participação de pelo menos três especialistas é suficiente para uma avaliação heurística eficaz [Nielsen e Landauer 1993], [Moran e Gordon 2023], foram convidados três especialistas em usabilidade e acessibilidade para colaborar com o pesquisador (especialista em ATVs, IHC e acessibilidade) na inspeção da ATV. Entre os convidados, um possui graduação em Design, mestrado em IHC e é especialista em realidade aumentada; outro é graduado em Sistemas de Informação (SI), com mestrado e doutorado (em andamento) em IHC; e o terceiro possui graduação em SI, especialização em Qualidade de Software e mestrado em IHC. Todos com amplo conhecimento em usabilidade e acessibilidade, bem como experiência intermediária na condução de inspeções heurísticas.

Para a inspeção de usabilidade, os especialistas convidados precisaram estudar e se familiarizar com as heurísticas propostas, com o objetivo de treinar o olhar para identificar corretamente os problemas durante a navegação por toda a ATV. Após essa etapa, foi realizada uma reunião de alinhamento sobre as heurísticas, com o intuito de aprimorar a identificação dos problemas relacionados a cada uma delas [Moran e Gordon 2023].

Na inspeção de acessibilidade, os especialistas confirmaram a ausência de recursos específicos voltados para pessoas surdas pré-lingüísticas. No entanto, para os testes com os usuários, o pesquisador implementou alguns recursos no protótipo com base nas recomendações de acessibilidade [Flor 2016], atendendo às Diretrizes 1, 2 e 3, que tratam da qualidade, clareza e formato da comunicação em língua de sinais. Dessa forma, todos os vídeos com tradução para Libras foram produzidos por profissionais especializados, com experiência em tradução para mídias digitais.

Devido à limitação da disponibilidade dos especialistas, ficou acordado que a inspeção seria realizada em apenas um dispositivo de sua preferência. Todos optaram por utilizar o computador, considerando a facilidade de acesso e o conforto proporcionado pelo tamanho da tela. Essa escolha foi reforçada pelos dados do *Google Analytics* da ATV escolhida, que indicaram que 65,2% dos acessos foram feitos via computador, 31,8% por *smartphone* e apenas 3% por tablet.

Após a inspeção, os especialistas preencheram um formulário eletrônico classificando os problemas identificados conforme os níveis de gravidade para problemas de usabilidade [Nielsen 1994] (Quadro 2). Após a conclusão dos preenchimentos, foi

calculada a média das classificações atribuídas, com o objetivo de facilitar a priorização das correções.

Quadro 2 - Classificação dos problemas por níveis de gravidade.

Gravidade	Classificação	Ação
0	Não é considerado problema	Não impacta na usabilidade
1	Cosmético	Não há necessidade imediata de solução
2	Simples	Problema de baixa prioridade (pode ser reparado)
3	Grave	Problema de alta prioridade (deve ser reparado)
4	Catastrófico	Muito grave, deve ser reparado com urgência

Por fim, o pesquisador se reuniu com os especialistas para discutir soluções para os problemas identificados e, a partir dessas discussões, iniciou a implementação das melhorias em uma cópia da ATV original, gerando um protótipo² funcional que foi utilizado nos testes com os usuários.

b) Teste com Usuários: para avaliar a interação dos usuários com o protótipo da ATV, foi utilizado o método empírico por meio de testes com voluntários. As tarefas foram definidas considerando o contexto dos usuários e executadas em dispositivos como *smartphone* ou computador. Elas foram elaboradas para serem breves, evitando desconforto ou cansaço por tempo excessivo, mas suficientemente abrangentes para avaliar os recursos de usabilidade e acessibilidade implementados no protótipo.

Foram criadas quatro tarefas para atender ao roteiro principal, com foco nos locais utilizados para as visitações presenciais guiadas. A esse roteiro foi incluído o acesso aos pavimentos superiores, devido à sua dinâmica de acesso complexa. As tarefas e objetivos estão apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 – Tarefas e objetivos.

ID	Descrição	Objetivos
1	Seguir até a fachada do castelo e acessar a dica.	Analisar a compreensão da dinâmica de utilização da aplicação. Analisar a compreensão da dinâmica dos recursos de dicas. Analisar a compreensão do funcionamento do recurso de mapa. Analisar a compreensão do recurso de clique nas placas para mostrar o caminho virtual. Analisar a compreensão dos ícones. Analisar a compreensão sobre a existência e funcionamento dos recursos de ajuda (Básica e dinâmica). Analisar a compreensão sobre a existência e funcionamento do recurso de menu.
2	Seguir para a exposição Oswaldo Cruz, localizada no 2º pavimento e acessar o recurso de Libras dentro de alguma informação	Analisar a compreensão da dinâmica de utilização da aplicação. Analisar a aceitação do formato adotado para o vídeo de tradução para Libras. Analisar a compreensão da dinâmica dos recursos de dicas. Analisar a compreensão do funcionamento do recurso de mapa. Analisar a compreensão do recurso de clique nas placas indicativas de direção (PIDs) para mostrar o caminho virtual. Analisar a compreensão dos ícones. Analisar a compreensão sobre a diferença entre o recurso de seta simples e seta dupla. Analisar a compreensão sobre a existência de elevador. Analisar a compreensão sobre a existência e funcionamento do recurso de ajuda (Básica e dinâmica). Analisar a compreensão sobre a existência e funcionamento do recurso de tradução para Libras.

² https://fiocruz360.icict.fiocruz.br/vtcastelofiocruz2024_teste

	sobre a exposição.	Analisar a compreensão sobre a existência e funcionamento do recurso de menu. Analisar a compreensão sobre as placas indicativas de direção (PIDs). Analisar a compreensão sobre o painel informativo de locais (PInfo). Analisar a compreensão sobre o recurso de informações. Analisar o entendimento sobre o recurso de caminho virtual. Avaliar a necessidade da implementação de mais placas indicativas de direção (PIDs).
3	Se dirigir ao terraço sul, localizado no 5º pavimento e encontrar a torre sul do castelo.	Analisar a compreensão da dinâmica de utilização da aplicação. Analisar a compreensão da dinâmica dos recursos de dicas. Analisar a compreensão dos ícones. Analisar a compreensão sobre a dinâmica de acesso ao 5º pavimento. Analisar a compreensão sobre a existência e funcionamento do recurso de tradução para Libras. Analisar a compreensão sobre a existência e funcionamento do recurso de ajuda (Básica e dinâmica). Analisar a compreensão sobre a existência e funcionamento do recurso de menu. Analisar a compreensão sobre a existência, localização e dinâmica de funcionamento do “elevador”. Analisar a compreensão sobre as placas indicativas de direção (PIDs). Analisar o entendimento e eficácia do recurso de caminho virtual. Avaliar a necessidade da implementação de mais placas indicativas de direção (PID).
4	Acessar a vista aérea e ativar o modo Libras.	Analisar a compreensão da dinâmica de utilização da aplicação. Analisar a compreensão da dinâmica dos recursos de dicas. Analisar a compreensão dos ícones. Analisar a compreensão sobre a existência e funcionamento do recurso de ajuda (Básica e dinâmica). Analisar a compreensão sobre a existência e funcionamento do recurso de tradução para Libras. Analisar a compreensão sobre a existência e funcionamento do recurso de menu. Analisar a compreensão sobre a proposta das placas georreferenciadas (PGeo). Analisar a compreensão sobre o recurso Modo Libras. Analisar a compreensão sobre recurso de camadas de localizações.

Com base no estudo de Nielsen e Landauer (1993), que indicam que cinco participantes são suficientes para identificar cerca de 85% dos problemas, foram selecionados seis voluntários surdos pré-lingüísticos e seis ouvintes [Nielsen 2000]. Um participante de cada grupo foi escolhido para o teste piloto, seguindo os critérios do perfil principal da pesquisa, com características semelhantes às dos demais participantes.

5) Cuidados Éticos

Este projeto foi submetido e aprovado por um Comitê de Ética em Pesquisa com CAEE 73933923.5.0000.5285. Assim, todos os cuidados para garantir o anonimato e mitigar qualquer desconforto foram tomadas, cumprindo as regras de cuidados com os voluntários e explicitadas no Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

6) Realização dos testes

a) Testes piloto: para validar os passos adotados nos testes, foram realizados dois testes piloto com o objetivo de refinar as etapas [Schade 2015], seguindo os passos: 1) Breve explicação sobre o objetivo da pesquisa e sua importância; 2) Apresentação do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (com o apoio do intérprete de Libras para os voluntários surdos); 3) Assinatura do TCLE; 4) Entrevista pré-teste; 5) Breve explicação sobre a dinâmica da avaliação; 6) Solicitação de breve navegação exploratória pelo protótipo, com duração aproximada de 5 minutos, para que o usuário pudesse se familiarizar com o ambiente e a dinâmica de uso; 7) Realização das tarefas do teste; e 8) Entrevista pós-teste.

Todos os documentos usados nos testes foram revisados previamente pelo intérprete de Libras para garantir que não houvesse dificuldades de interpretação. Como não foram identificados problemas, os mesmos materiais foram aplicados tanto para os usuários surdos quanto para os ouvintes.

O primeiro teste piloto foi realizado com um voluntário ouvinte (OP) de 46 anos, fotógrafo pós-graduado, com boa experiência computacional (autoavaliação feita pelo próprio participante) e que já tinha usado uma ATV. Esse procedimento objetivou identificar dificuldades de compreensão das tarefas e medir o tempo necessário para a execução de cada etapa do teste. No total, este usuário o finalizou em 36 minutos. Esse procedimento foi fundamental para nortear o teste com o usuário surdo, considerando que o tempo de avaliação poderia ser maior devido à mediação do intérprete de Libras.

O usuário surdo (SP), com 61 anos de idade, auxiliar administrativo, surdo de nascença com pouco entendimento da língua portuguesa (autoavaliação feita pelo próprio participante), experiência computacional mediana e que já havia usado uma ATV gastou 64 minutos para finalizar o teste.

Ambos os usuários piloto optaram por realizar o teste em seus próprios computadores, no ambiente de trabalho. Desta forma, o pesquisador se encaminhou para os locais escolhidos e lá montou os equipamentos de gravação de áudio e vídeo.

O pesquisador iniciou a sessão explicando o objetivo da pesquisa e sua relevância, leu o TCLE e obteve sua assinatura. Em seguida, foi realizada uma explicação sobre a entrevista pré-teste, dando início à gravação e à coleta de dados. Antes do início das tarefas, o pesquisador verificou se havia dúvidas sobre as instruções fornecidas, reforçando que o objetivo do teste era avaliar a aplicação e que a participação do voluntário contribuiria para a melhoria dela. Confirmada a compreensão, o participante foi convidado a explorar livremente a ATV por cerca de 5 minutos, simulando uma navegação espontânea, como se estivesse em casa, podendo realizar qualquer ação desejada. Ao final do tempo, o pesquisador interrompeu a navegação e explicou o funcionamento das tarefas, esclarecendo que o usuário poderia se expressar livremente durante a execução, mas que o pesquisador não responderia perguntas sobre acertos ou erros, uma vez que o foco da avaliação era a aplicação, e não o desempenho do voluntário. Iniciada as tarefas, o pesquisador acompanhou e registrou as ações do participante. Após a realização dos testes, foram coletadas as opiniões dos voluntários por meio de entrevistas pós-testes semiestruturadas, com o objetivo de relembrar as atividades realizadas e permitir que os participantes comentassem livremente sobre suas percepções, encerrando o processo de avaliação. Essa etapa foi registrada em áudio e vídeo para posterior análise. Ambos relataram que se sentiram confortáveis com o tempo gasto para o teste.

Finalizado o teste piloto, as gravações foram movidas para dois dispositivos de armazenamento sem conexão com a internet, a fim de garantir o sigilo e a integridade dos dados coletados. Após, foram realizados ajustes nos textos das tarefas, com o apoio de um intérprete de Libras, visando simplificar e facilitar a comunicação com os participantes surdos.

Para compreender as reais necessidades dos usuários, foi fundamental observar a interação com o protótipo, uma vez que nem sempre os usuários conseguem expressar completamente sua experiência de uso [Ferreira 2020]. A observação dos grupos de pessoas surdas e ouvintes permitiu identificar se os problemas encontrados eram comuns

a todos os participantes (questões de usabilidade) ou específicos de um grupo (barreiras de acessibilidade).

b) Teste com os Usuários: Os testes com os demais voluntários seguiram o mesmo formato dos testes piloto. Ao todo foram realizadas duas rodadas de testes (cinco voluntários de cada grupo na primeira e dois na segunda). Entre as rodadas de testes, foram implementadas melhorias para os problemas encontrados no primeiro teste em nova versão de protótipo³. Para garantir o anonimato dos participantes, os voluntários foram codificados de acordo com seus respectivos grupos: os participantes surdos foram identificados como S1, S2, S3, S4, S5, S6 e S7, e os ouvintes como O1, O2, O3, O4, O5, O6 e O7.

Os testes ocorreram conforme a disponibilidade dos participantes, sendo necessário, no caso dos surdos, conciliar os horários com os dos intérpretes de Libras. Os perfis dos voluntários são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 – Perfis dos voluntários.

ID	Idade	Escolaridade	Profissão	Nível de perda auditiva	Idade que ficou surdo?	Entendimento da língua portuguesa (autoavaliação)	Experiência computacional (autoavaliação)	
							Computador	Smartphone
S1	47	Superior Incompleto	Designer	Perda auditiva profunda	Nasceu surdo	Pouco	Muito bom	Mediana
S2	35	Pós-graduação Incompleta	Auxiliar administrativo e Professor de Libras	Perda auditiva profunda	Antes de 1 ano	Parcial	Muito bom	Bom
S3	53	Superior Completo	Designer	Perda auditiva profunda	Antes de 1 ano	Parcial	Bom	Bom
S4	48	Ensino Médio Completo	Auxiliar administrativo	Perda auditiva profunda	1 ano	Parcial	Bom	Bom
S5	51	Pós-graduação Completa	Assistente Administrativo e Professor de Libras	Perda auditiva profunda	Nasceu surdo	Parcial	Bom	Bom
S6	39	Ensino Médio Completo	Auxiliar administrativo	Perda auditiva profunda	Nasceu surdo	Pouco	Muito bom	Mediana
S7	55	Ensino Médio Completo	Auxiliar administrativo	Perda auditiva profunda	Antes de 1 ano	Parcial	Bom	Mediana
O1	30	Superior Completo	Fotógrafo e Publicitário	-----	-----	-----	Bom	Bom
O2	77	Ensino Médio Completo	Aposentado	-----	-----	-----	Mediana	Mediana
O3	22	Superior Incompleto	Estudante	-----	-----	-----	Bom	Bom
O4	62	Superior Incompleto	Fotógrafo	-----	-----	-----	Mediana	Bom
O5	27	Superior Completo	Bibliotecário	-----	-----	-----	Muito bom	Muito bom
O6	25	Superior Completo	Publicitário	-----	-----	-----	Muito bom	Muito bom

³ https://fiocruz360.icict.fiocruz.br/vtcastelofiocruz2024_validacao

O7	30	Superior Completo	Cineasta e Nutricionista	-----	-----	-----	Muito bom	Muito bom
----	----	-------------------	--------------------------	-------	-------	-------	-----------	-----------

As informações sobre a experiência no uso de ATVs são apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5 – Experiência no uso de ATVs.

ID	Conhece o aplicativo Google Maps?	Utilizou o recurso de passeio virtual do Google Maps?	Sabe o que é uma aplicação de tour virtual?	Já utilizou alguma aplicação de tour virtual?	Teve alguma dificuldade em entender como funciona?	Qual foi a aplicação de tour virtual que utilizou?	Algum deles tinha recursos de acessibilidade?
Surdos pré-lingüísticos							
S1	Não	Não	Não	-----	-----	-----	-----
S2	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não lembra	Não
S3	Sim	Não	Não	-----	-----	-----	-----
S4	Sim	Sim	Não	-----	-----	-----	-----
S5	Sim	Sim	Sim	Não	-----	-----	-----
S6	Sim	Sim	Não	-----	-----	-----	-----
S7	Sim	Não	Não	-----	-----	-----	-----
Ouvintes							
O1	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Museu	Não
O2	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Museu	Não
O3	Sim	Sim	Sim	Não	-----	-----	-----
O4	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Centro Cultural / Escola	Não
O5	Sim	Não	Sim	Não	-----	-----	-----
O6	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Museu	Não
O7	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Museu	Não

Com relação ao conhecimento prévio do Castelo Fiocruz, os voluntários S1, S3, O1, O3 e O4 já haviam visitado presencialmente em alguma ocasião, sendo que apenas o participante S1 havia acessado o 5º pavimento.

Todos os voluntários optaram por realizar os testes utilizando computadores (próprios ou do pesquisador), devido ao conforto visual proporcionado pelo tamanho da tela. Com exceção de um participante, todos os testes foram realizados no ambiente de trabalho dos voluntários.

Nenhuma das gravações realizadas durante os testes captou imagens que possibilitassem a identificação dos participantes, garantindo, assim, o anonimato de suas identidades.

3.2. Limitações da Pesquisa

Uma das limitações desta pesquisa é o fato de não terem sido feito avaliações em plataformas *mobile*, logo os recursos desenvolvidos não puderam ser avaliados nesse contexto, impossibilitando a validação de sua eficácia nesse tipo de dispositivo. Além disso, como o estudo foi conduzido com base em uma única ATV, é possível que alguns problemas identificados sejam específicos da aplicação testada. No entanto, as soluções propostas podem servir como referência para a resolução de problemas similares em outras ATVs, mesmo que estes não tenham sido observados na aplicação avaliada.

4. Resultados e Discussões

4.1. Inspeção

Os resultados da inspeção revelaram questões significativas relacionadas à interação, navegação e comunicação, que podem comprometer a qualidade geral de uma ATV. No total, os especialistas (E1, E2 e E3) e o pesquisador identificaram 34 problemas de usabilidade (Quadro 6). Em relação à acessibilidade, foram identificados três problemas. As soluções propostas para esses problemas foram implementadas em um protótipo funcional, que posteriormente foi testado com os usuários, a fim de verificar a eficácia das melhorias realizadas.

Quadro 6 – Priorização dos problemas consolidados e soluções propostas.

Ordem	Heurística	Problema	E1	E2	E3	Média	Solução Proposta
1	H2	Dificuldade em encontrar a saída da Exposição Carlos Chagas. (Resolvido)	4	4	4	4,0	Inserir placas indicando a saída.
2	H2	Dificuldade em encontrar a saída da Exposição Castelo de Inspirações. (Não Testada)	4	4	4	4,0	Inserir placas indicando a saída.
3	H2	Dificuldade em encontrar o elevador no 3º andar. (Resolvido parcialmente)	3	2	4	3,0	Caminho virtual (Figura 1a).
4	H13	Setas abaixo do nível médio de visão, escondidas da visão. (Resolvido)	3	3	3	3,0	Reposicionamento das setas no chão.
5	H2	Não foi encontrada uma informação clara sobre a possibilidade de acessar os demais andares superiores e não foi informado que esse acesso é apenas pelo elevador. (Resolvido)	2	3	3	2,7	Dica com a explicação sobre o acesso aos pavimentos superiores.
6	H16	Havia poucas placas indicativas de direção para orientar sobre a localização dos ambientes. (Resolvido parcialmente)	2	3	3	2,7	Inclusão de novas placas em locais estratégicos.
7	H2	O recurso de radar para alguns pontos não foi exibido no mapa. (Resolvido)	2	3	3	2,7	Inclusão de todos os pontos de referência no mapa.
8	H9	O vídeo de apresentação apareceu automaticamente, sem ser acionado por um botão. (Resolvido)	4	2	2	2,7	Exibir o vídeo por meio de um botão.
9	H12	O 5º Pavimento não tinha placa na porta do gabinete da presidência, porém em outros lugares apresentavam a descrição na porta. (Resolvido)	3	2	3	2,7	Criar a placa de identificação do local (PIL).
10	H13	O posicionamento do ícone com drone não estava muito visível. (Resolvido)	3	2	3	2,7	Reposicionamento do ícone do drone.
11	H16	Não foram identificados mecanismos para recuperação de erros. (Resolvido)	1	4	3	2,7	Criar botão para saída imediata das exposições.
12	H1	Livro de visitas apresentava o layout quebrado. (Resolvido)	3	1	4	2,7	Recurso removido do protótipo.
13	H1	Texto “Lorem ipsum” como exemplo de informação na ajuda. (Resolvido)	4	2	2	2,7	Alteração do formato da ajuda.
14	H13	O elevador apresentava dois ícones: um ilustrativo e outro com o título "Elevador" que era destinado à função de entrar. (Resolvido)	3	2	3	2,7	Reposicionamento da descrição do ícone que representa o "elevador".
15	H1	Os ícones do menu ficavam ofuscados quando se movimentava o ambiente dificultando o entendimento. (Resolvido)	2	2	3	2,3	Escurecimento do fundo dos ícones.
16	H10	Não foi encontrado nenhum recurso para facilitar a aprendizagem. (Resolvido)	2	2	3	2,3	Inserir informações em formato de vídeo ou texto (dicas)(Figura 1b).

17	H15	Não havia instrução de navegar para esquerda e direita, clicando e arrastando. (Resolvido)	2	2	3	2,3	Inclusão da instrução no recurso de ajuda básica.
18	H1	Não havia opção para fechar ou minimizar o mapa. (Resolvido)	3	1	3	2,3	Criar recurso para fechar o mapa.
19	H2	No 1º Pavimento não havia informação indicando o que o usuário encontraria em cada pavimento do Castelo. (Não Resolvido)	2	2	3	2,3	Criar painel informativo de locais (PInfo).
20	H9	Os textos dos painéis físicos das exposições eram pequenos e não apresentavam opção para ampliação. (Não testada)	3	2	2	2,3	Ampliação do alcance do zoom.
21	H1	Os ícones subir para o castelo, "H" da vista aérea, cúpula, drone, entrar e sair do elevador estavam sem descrição. (Resolvido)	2	2	3	2,3	Substituir o ícone "Subir para o Castelo" pela seta no chão e o uso do recurso de ajuda dinâmica ao demais.
22	H1	Ícone VR na ajuda estava sem descrição. (Não testada pois somente funciona em dispositivos móveis)	3	1	3	2,3	Alteração do formato da ajuda.
23	H4	Quando o mouse ficava parado por um tempo, a tela (ambiente) começava a girar. (Resolvido)	4	1	2	2,3	Desativar a função de giro automático.
24	H4	Os textos das informações ficavam comprimidos quando visualizados em smartphone. (Não testada)	1	2	3	2,0	Alterado o alinhamento da imagem e texto para vertical.
25	H7	As placas pareciam ser clicáveis, mas não eram. (Resolvido)	2	2	2	2,0	Caminho virtual.
26	H9	O formato da Ajuda continha muitas informações, o que poderia gerar confusão. (Resolvido)	1	2	3	2,0	Ajuda básica e ajuda contínua.
27	H12	Em alguns momentos, havia descrição ao passar o mouse sobre o ícone, mas em outros não. (Resolvido)	2	2	2	2,0	Correção dos ícones com problema.
28	H15	Dificuldade em achar a ajuda no menu. (Resolvido)	2	1	3	2,0	Ajuste na transparência do fundo dos ícones.
29	H2	Não havia uma forma de saber onde o usuário tinha passado. (Resolvido)	0	3	2	1,7	Colorir os pontos já visitados no mapa.
30	H9	Os textos de informação estavam escritos em letras muito pequenas e com o mínimo espaçamento entre as linhas. (Resolvido)	2	1	2	1,7	Aumentar o tamanho da letra e espaçamento.
31	H10	Não possuía barra de progresso para mostrar quantos locais faltavam ser visitados. (Resolvido)	1	2	2	1,7	Implementada para a segunda rodada de testes.
32	H7	Não foi encontrada nenhuma indicação para ligar o som, nem foi ouvido qualquer barulho durante a interação (Não solucionado para os testes com os usuários).	0	2	2	1,3	Não implementada devido à complexidade e restrição de tempo.
33	H14	Não foi encontrado recursos de feedback do aprendizado (Não solucionado para os testes com os usuários).	0	2	2	1,3	Não implementada devido à complexidade e restrição de tempo.
34	H8	Não foi encontrado opção de customização (Não solucionado para os testes com os usuários).	0	1	2	1,0	Não implementada devido à complexidade e restrição de tempo.



(a)

(b)

Figura 1 – a) Exemplo de Caminho Virtual, b) Exemplo de Dica em vídeo.

Além das melhorias sugeridas pelos especialistas, o pesquisador implementou aprimoramentos adicionais, como a reorganização das funcionalidades do menu, a remoção dos botões de *zoom* (já acessíveis pelo *scroll* do *mouse*), a ampliação da área de clique nos ícones de *hotspots* e a inclusão de novos atalhos para a vista aérea.

4.2. Testes com usuários

Para a primeira rodada de testes, foram propostas soluções para trinta dos trinta e quatro problemas de usabilidade identificados na inspeção.

Das trinta soluções propostas, 23 resolveram os problemas completamente, duas resolveram parcialmente, quatro não puderam ser testadas e uma não resolveu o problema.

As soluções aplicadas aos problemas parcialmente resolvidos demonstraram-se promissoras durante os testes com os usuários. Contudo, por não eliminarem completamente as dificuldades, os respectivos problemas foram incluídos em uma nova lista de problemas identificados nos testes, uma vez que exigiram reformulação das propostas de solução e reavaliação em segunda rodada de testes.

Das quatro soluções que não puderam ser testadas, a solução referente ao problema 2 (dificuldade em encontrar a saída da Exposição Carlos Chagas) foi excluída do roteiro de teste devido ao tempo limitado para a execução das tarefas previstas. Como esse problema era semelhante ao problema 1 (dificuldade em encontrar a saída da Exposição Castelo de Inspirações), o pesquisador considerou possível obter resultados equivalentes, visto que a proposta de solução era a mesma. Já as soluções para os problemas 22 (ícone VR na ajuda estava sem descrição) e 24 (os textos das informações ficavam comprimidos quando visualizados em *smartphone*) não puderam ser avaliadas, pois dependiam de testes em *smartphones*, dispositivo que nenhum participante escolheu utilizar na avaliação. Assim, o pesquisador optou por avaliá-las em testes futuros.

A única solução que não obteve sucesso na primeira rodada foi a proposta para resolver o problema 19. Os usuários interpretavam a solução como se fosse um painel de atalhos, e não como um painel informativo exclusivamente (Figura 2). Diante disso, o pesquisador incluiu esta questão na lista de problemas encontrados nos testes.

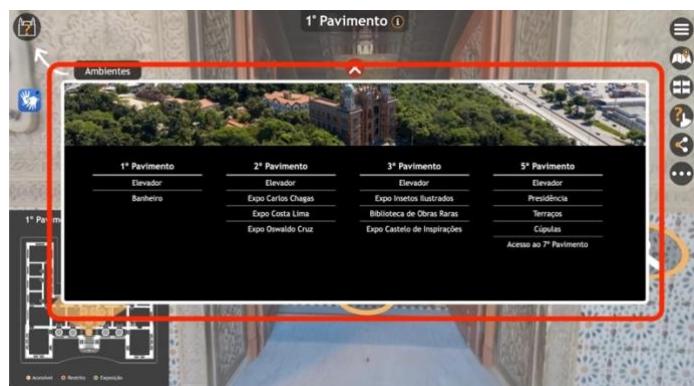


Figura 2 - Ilustração da proposta de solução para o problema 19.

Para os problemas de acessibilidade, todas as soluções propostas foram bem aceitas pelos usuários, entretanto os testes evidenciaram a necessidade de pequenos ajustes. As observações são apresentadas no Quadro 7.

Quadro 7 – Problemas de acessibilidade.

ID	Problema	Solução	Resultado	Observação
1	Os textos das janelas de informação não tinham a tradução para Libras.	Criado botão representando Libras para exibir o vídeo de tradução para Libras.	Resolvido parcialmente	- Dificuldade para encontrarem o botão de Libras dentro da Informação. - Os vídeos de Libras se confundiam com a informação ao fundo. - Não tinha como diminuir o tamanho da janela com o vídeo de tradução para libras. - Problemas observados foram incluídos na lista de problemas encontrados nos testes (Quadro 9).
2	Não existia a tradução para Libras para as placas.	Criado botão representado Libras ao lado de todo conteúdo textual das placas.	Resolvido	- Este recurso foi acionado por todos os participantes surdos.
3	Exibição permanente dos ícones de tradução para Libras para todo o conteúdo textual.	Criado recurso modo Libras (Botão que ativa/desativa o recurso de tradução para Libras de todo o conteúdo).	Resolvido	- Dificuldade em perceber o botão do recurso modo Libras. - Problema observado foi incluído na lista de problemas encontrados nos testes (Quadro 9).

Além dos resultados referentes às soluções propostas, a análise dos testes com os usuários gerou mais informações sobre a dinâmica de uso de uma ATV semi-imersiva.

4.3. Navegação Exploratória

A navegação exploratória foi crucial não apenas para que os usuários se familiarizassem com a aplicação antes dos testes, mas também para que o pesquisador compreendesse melhor sobre a interação inicial e o uso do protótipo de ATV sem um roteiro pré-definido.

Os resultados revelaram que dois usuários surdos, que não estavam familiarizados com o conceito de uma ATV semi-imersiva, enfrentaram dificuldades durante o início da utilização. Contudo, ao final dos 5 minutos da navegação exploratória, ambos haviam compreendido a dinâmica de uso e passaram a utilizá-la com naturalidade.

Um outro ponto relevante observado foi que, apesar da navegação ser exploratória e sem um roteiro definido, metade dos participantes (dois surdos e três ouvintes) utilizou as placas indicativas de direção (PIDs) (Figura 3) para se orientarem pela navegação, indicando a pertinência da utilização deste tipo de recurso de localização e orientação.

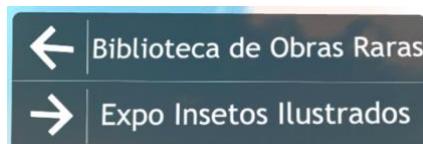


Figura 3 - Exemplo de Placa Indicativa de Direção (PID).

O Quadro 8 apresenta o resultado consolidado das observações realizadas pelo pesquisador na navegação exploratória.

Quadro 8 – Observações sobre os usuários na navegação exploratória.

Observações	S1	S2	S3	S4	S5	O1	O2	O3	O4	O5
Teve alguma dificuldade no uso inicial?	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Entendeu a dinâmica de uso?	Sim									
Acessou alguma informação?	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Acessou o recurso de tradução para Libras?	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
Acessou algum detalhe do ambiente?	Sim	Não	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
Acessou o recurso de mapa?	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não
Acessou a vista aérea?	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não
Acessou o recurso de dica?	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não
Utilizou o recurso de caminho virtual?	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não
Acessou algum recurso de ajuda?	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
Acessou o botão do modo Libras?	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
Acessou algum item do menu?	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
Se orientou pelas placas indicativas de direção (PIDs)?	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Não

4.4. Tarefas

Os usuários demonstraram preferência por um roteiro específico de navegação, utilizando as escadas para acessar os pavimentos, o que pode orientar a instalação de placas em pontos estratégicos. Os ícones de navegação, como setas simples e duplas (avançar e avançar rápido), foram bem compreendidos e utilizados, especialmente o avanço rápido em áreas de menor relevância informativa, como corredores e varandas. A possibilidade de controlar a velocidade de navegação contribuiu para uma experiência mais eficiente e personalizada.

Em um dos testes, um participante surdo, diagnosticado com síndrome de Usher (condição que provoca perda gradual da visão) utilizou as setas do teclado como alternativa ao mouse, evidenciando a necessidade de recursos complementares que ampliem a acessibilidade, como o suporte à navegação via teclado. Com relação ao recurso de tradução para Libras, todos participantes o consideraram relevante, destacando sua importância para a compreensão do conteúdo e a autonomia na navegação.

Os elementos gráficos de orientação e localização, como as placas indicativas de direção (PID), de identificação de local (PIL), de referência de localização (PRef) e georreferenciadas (PGeo), ilustradas nas Figuras 4a e 4b, foram constantemente utilizados pelos participantes. Esses recursos contribuíram para evitar situações de desorientação e seu emprego foi considerado essencial em ATVs.

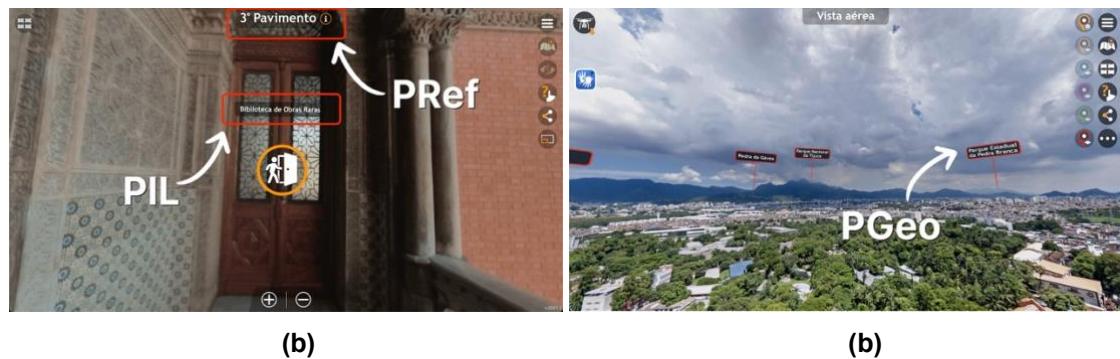


Figura 4 – a) Exemplo de PID e PRef, b) Exemplo de PGeo.

O recurso de mapa foi consultado por seis participantes (quatro surdos e dois ouvintes) na navegação exploratória e na execução das tarefas. Tal comportamento evidenciou a utilidade do mapa como ferramenta de orientação espacial e como atalho para os diferentes ambientes da ATV. Recomendado pelas heurísticas de RV semi-imersiva, o mapa mostrou-se especialmente valioso para os participantes surdos, reforçando sua relevância para esse público.

Adicionalmente, o formato da ajuda contribuiu para apoiar o aprendizado intuitivo das funcionalidades e na compreensão do funcionamento da ATV (Figura 5). Esse benefício foi evidenciado pelas reações positivas dos participantes ao se depararem com novos ícones ao longo do percurso, pois a maioria compreendeu prontamente suas funcionalidades, demonstrando a eficácia na comunicação com os usuários.

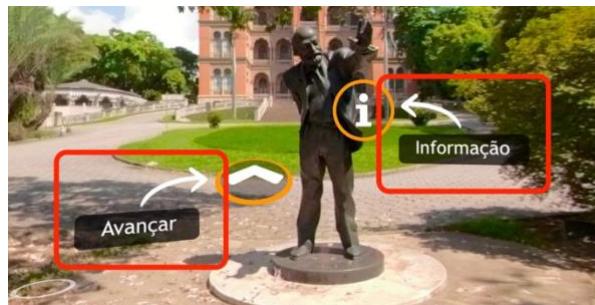


Figura 5 - Exemplo de recurso de ajuda contínua.

Observou-se que os participantes utilizaram o menu como instrumento de controle e como meio de descoberta de novos recursos. Embora o acesso ao menu não tenha sido solicitado, cinco participantes (três surdos e dois ouvintes) o consultaram espontaneamente. Esse comportamento reforça a importância da presença do recurso de

menu em ATVs, pois centraliza funcionalidades e facilita o acesso a funções de forma organizada, promovendo maior autonomia do usuário.

Em relação aos recursos de acessibilidade voltados a surdos pré-linguísticos (Figura 6a e 6b), todos participantes, em especial os surdos avaliaram as funcionalidades como altamente relevantes.



Figura 6 – a) Exemplo do recurso Modo Libras ativo, b) Exemplo da tradução para Libras.

Os problemas identificados durante a primeira rodada de testes com os usuários e as propostas de solução são apresentados no Quadro 9, ordenados conforme a frequência de ocorrência.

Quadro 9 – Problemas encontrados nos testes e propostas de solução.

ID	Problemas	Propostas de solução
1	Confundiam a entrada para Exposição Carlos Chagas como saída da Exposição Oswaldo Cruz.	Criar placas indicativas de direção (PIDs) referenciando a saída da exposição Carlos Chagas e a entrada para a exposição Oswaldo Cruz.
2	Clicavam nos itens do painel informativo de locais (PInfo).	Unir as funcionalidades do Menu de Ambientes com as do PInfo e um novo formato de painel (Figura 7).
3	Dificuldade para encontrarem o elevador no 3º Pavimento.	Retirar seta de acesso à Biblioteca de Obras Raras e implementar recurso de dica que direcionava o usuário para o elevador.
4	Clicavam na ajuda referente aos ícones.	Implementar na descrição (ajuda) de cada novo ícone a mesma ação atribuída ao ícone correspondente.
5	Dificuldade em entender o vídeo da dica.	Melhorar o design da janela de vídeo, criando uma janela ligeiramente menor com borda que delimitava seu espaço, destacando-a do fundo.
6	Inicialmente não foi compreendida a funcionalidade do modo Libras.	Implementação de uma tela inicial com os perfis Surdo e Ouvinte. Para estar de acordo com os princípios do design universal, esta solução foi substituída pela inversão do posicionamento do menu principal com o botão Modo Libras.
7	Acessavam o 7º Pavimento acreditando ir para o terraço.	Criar placa indicativa de direção (PID) para o 7º pavimento e posicionada acima do ícone que levava a esse local.
8	Os vídeos de Libras se confundiam com a informação ao fundo.	Implementar o mesmo recurso criado para solucionar o problema do vídeo de dica (solução 5).
9	Dificuldade para encontrarem o recurso de Libras dentro da informação.	Aumentar o tamanho do botão de Libras.
10	Usuário clicava nas PIDs de saída dos locais.	Criar botão de atalho para sair imediata da exposição.
11	Dificuldade em encontrar o botão do recurso modo Libras.	Aumentar o tamanho do botão Modo de Libras.
12	Não conseguia saber em qual terraço estava.	Criar Prefs referentes aos terraços.

13	Dificuldade para retornar ao interior das cúpulas a partir da vista externa delas.	Criar botão de atalho semelhante ao utilizado para sair imediatamente das exposições.
14	Não tinha como diminuir o tamanho da janela com o vídeo de tradução para libras.	Criar recurso que amplia e diminui o tamanho da janela do vídeo.



Figura 7 - Ilustração da segunda proposta de solução para o problema 19.

As soluções propostas para a segunda rodada resolveram todos os problemas. Além das questões levantadas na primeira rodada, observou-se que usuários com menor escolaridade tiveram dificuldade inicial para compreender a dinâmica de uso da ATV. No entanto, todos conseguiram completar as tarefas com mais propriedade.

O pesquisador observou que os participantes permaneceram tranquilos e confiantes durante a fase de navegação exploratória, mesmo com o tempo limitado. No entanto, durante os testes, apesar da ausência de restrições de tempo, foi notada uma mudança de comportamento. Alguns participantes demonstraram hesitação ao realizar ações simples como acessar determinados recursos que haviam executado com naturalidade na etapa anterior. Outros buscaram concluir rapidamente as tarefas, como se estivessem competindo contra o tempo. Esse comportamento evidencia a importância de ajustes na abordagem metodológica, de modo a preservar a espontaneidade observada na navegação exploratória ao longo de toda a avaliação. Observou-se que alguns usuários surdos demonstraram grande interesse pelas informações em Libras, permanecendo por longos períodos explorando os conteúdos. Da mesma maneira, ocorreu com alguns usuários ouvintes que, além de lerem os conteúdos informacionais, também exploraram com mais atenção os ambientes. De forma diferente, outros usuários simplesmente seguiram o fluxo das tarefas focados apenas na conclusão. Esse comportamento impossibilitou a comparação direta do tempo de realização das tarefas, já que o objetivo do teste foi observar o uso da ATV, e não contabilizar erros ou acertos ao longo do percurso. De forma ilustrativa, os tempos são apresentados no Quadro 10.

Quadro 10 – Tempo gasto pelos participantes.

Usuário	Tarefa 1	Tarefa 2	Tarefa 3	Tarefa 4	Tempo Total
OP	00:02:16	00:04:09	00:02:13	00:00:57	00:09:35
SP	00:06:26	00:06:22	00:07:27	00:02:40	00:22:55
S1	00:01:36	00:01:33	00:02:23	00:02:10	00:07:42
S2	00:04:15	00:04:07	00:08:05	00:02:44	00:19:11
S3	00:03:59	00:08:34	00:21:00	00:01:00	00:34:33
S4	00:01:11	00:01:08	00:09:19	00:02:22	00:14:00
S5	00:05:33	00:03:27	00:05:41	00:03:05	00:17:46
Média	00:03:19	00:03:46	00:09:18	00:02:16	00:18:38
Total S	00:16:34	00:18:49	00:46:28	00:11:21	01:33:12
O1	00:00:23	00:00:46	00:01:35	00:00:11	00:02:55

O2	00:00:52	00:07:41	00:14:08	00:01:55	00:24:36
O3	00:00:38	00:02:25	00:01:00	00:00:22	00:04:25
O4	00:04:48	00:07:14	00:03:15	00:04:32	00:19:49
O5	00:01:27	00:01:10	00:01:46	00:00:22	00:04:45
Média	00:01:38	00:03:51	00:04:21	00:01:28	00:11:18
Total O	00:08:08	00:19:16	00:21:44	00:07:22	00:56:30

Embora alguns participantes já tivessem visitado presencialmente o Castelo Fiocruz, esse fator não se mostrou determinante para a conclusão mais rápida das tarefas. De modo geral, observou-se que usuários com maior domínio computacional e pertencentes às faixas etárias mais jovens apresentaram maior facilidade e agilidade na execução das tarefas propostas. Esses resultados evidenciam a necessidade de avanços na dinâmica de interação com as ATVs, com foco na melhoria da experiência de uso por parte do público mais idoso.

Os resultados dos testes indicaram que não houve diferenças significativas entre os grupos de participantes surdos e ouvintes no uso da ATV. Ambos demonstraram comportamentos semelhantes quanto à compreensão das informações apresentadas, recursos e ao entendimento da dinâmica de uso da ATV.

De forma geral, os resultados obtidos nos testes com os usuários elucidaram diversas questões relacionadas à dinâmica de uso e às necessidades específicas para que uma ATV seja, de fato, acessível a pessoas surdas pré-lingüísticas.

5. Considerações Finais

Este estudo buscou investigar e propor estratégias que assegurem a usabilidade e a acessibilidade de pessoas surdas pré-lingüísticas em ATVs semi-imersivas.

Os levantamentos bibliográficos e técnicos apontaram para uma possível lacuna significativa na literatura no que diz respeito à acessibilidade em ATVs voltadas ao público surdo. Essa hipótese é reforçada pelas respostas dos participantes, que relataram nunca ter utilizado uma ATV com recursos de acessibilidade.

O método utilizado (inspeção *ad-hoc* realizado por especialistas, classificação e ordenação dos problemas encontrados, elaboração de protótipo para testes por tarefas com usuários surdos e ouvintes e entrevistas) proporcionou a geração de importantes dados sobre a utilização de uma ATV por grupos distintos de usuários (surdos e ouvintes). A partir da análise comparativa entre estes grupos, observou-se que, apesar de diferenças iniciais no conhecimento e familiaridade com a tecnologia, ambos os grupos foram capazes de utilizar a aplicação de forma semelhante, o que demonstra o potencial de inclusão das ATVs quando desenvolvidas com atenção à acessibilidade.

O estudo evidenciou que estratégias como ajuda dinâmica, tradução em Libras de todo o conteúdo textual, uso de iconografia convencional e orientação espacial foram eficazes para tornar a aplicação mais intuitiva e compreensível para ambos os grupos de voluntários. Destacou-se a percepção positiva dos usuários surdos, indicando que pequenas adaptações podem ter grande impacto na experiência de uso. Observou-se ainda que escolaridade e faixa etária influenciam na compreensão da interface, exigindo atenção especial ao formato dos recursos de ajuda.

Como contribuição científica e tecnológica, este estudo permitiu avaliar a eficácia da combinação de métodos complementares, possibilitando a identificação de barreiras e o desenvolvimento de estratégias que tornaram uma ATV mais acessível e satisfatória

para pessoas surdas pré-lingüísticas. Os resultados geraram conhecimentos relevantes para a área de IHC, especialmente sobre a experiência de uso do público surdo e formas de desenvolver ou adaptar ATVs às suas necessidades.

O protótipo desenvolvido representa uma base tecnológica promissora para o avanço das ATVs, contribuindo para a criação de produtos mais intuitivos e atrativos para os usuários surdos. Os resultados obtidos indicaram que é possível construir experiências digitais mais inclusivas com qualidade.

Como trabalhos futuros, pretende-se realizar testes da ATV em *smartphones*, objetivando compreender eventuais diferenças na dinâmica de uso em comparação com computadores além de elaborar um guia com recomendações para o desenvolvimento adequado de ATVs semi-imersivas com foco em usabilidade e acessibilidade para o público surdo, complementando o estudo anterior de Oliveira (2024).

6. Agradecimentos

Informamos que a ferramenta ChatGPT foi utilizada para revisões textuais, incluindo gramática, ortografia e coesão. Esta ferramenta também foi empregada, em conjunto com o Google Tradutor, para a tradução do resumo em inglês.

Referências

- Alves, A. D. S. (2012). Estudo do Uso de Diálogos de Mediação para Melhorar a Interação de Surdos Bilíngues na Web. 2012. 142 f. Dissertação (Mestrado em Informática) – Programa de Pós-Graduação em Informática, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- Alves, A. D. S., Ferreira, S. B. L., Veiga, V. S. D. O., Monteiro, I. T., Silveira, D. S. D., Raposo, A. B. (2013). Novas estratégias comunicativas como fator de qualidade na interação de surdos em um sistema organizacional. In: Simpósio Brasileiro de Fatores Humanos em Sistemas Computacionais, 12., 2013, Manaus. Anais... Manaus: UFAM, 2013.
- Barbosa, P. G. F. (2018). Acessibilidade em museus: um estudo de caso para apoiar a visita espontânea de surdos com o uso da realidade aumentada. 2018. 195 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), Programa de Pós-Graduação em Informática, Departamento de Informática Aplicada, Rio de Janeiro, 2018.
- Bernal, P. M. C., Vivó, J. J. C. (2016) Panoramas esféricos estereoscópicos. EGA Expresión Gráfica Arquitectónica, v. 21, n. 28, p. 70-81, 2016.
- Brasil. (2023). Ministério dos Direitos Humanos e da Cidadania. Pela primeira vez, PNAD Contínua reúne e disponibiliza dados sobre pessoas com deficiência. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2023/07/pela-primeira-vez-pnad-continua-reune-e-disponibiliza-dados-sobre-pessoas-com-deficiencia>. Acesso em: 1 jul. 2024.
- Cavalcante, N. W. F. (2015). Compreensão de conteúdo multimídia na web por deficientes auditivos pré-lingüísticos: um estudo de caso com campanhas de saúde. 2015. 142 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), Rio de Janeiro, 2015.

- Corradi, J. A. M. (2007). Ambientes informacionais digitais e usuários surdos: questões de acessibilidade. 2007. 214 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Informação) – Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação, Faculdade de Filosofia e Ciências, Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Campus de Marília, Marília, 2007.
- Couto, A. (2015). Como compreender o deficiente auditivo. Rio de Janeiro: Rotary Club do Rio de Janeiro, Comissão de Assistência ao Excepcional, 1985.
- De Fino, M., Bruno, S., Fatiguso, F. (2022). Dissemination, assessment and management of historic buildings by thematic virtual tours and 3D models. *Virtual Archaeology Review*, v. 13, n. 26, p. 88-102, 2022.
- Ferreira, S. B. L. (2020). Acessibilidade - Avaliação de Interfaces. Aula 17 da disciplina de Acessibilidade, Programa de Pós-Graduação em Informática, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.
- Flor, C. D. S. (2016). Recomendações para a criação de pistas proximais de navegação em websites voltadas para surdos pré-lingüísticos. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão do Conhecimento) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/174271/344668.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 8 mar. 2024.
- Fu, Y., Fu, T., Tan, H. (2022). Design of Interactive Landscape Virtual Tour System Based on 3D Virtual Reality Technology. In: 2022 IEEE Asia-Pacific Conference on Image Processing, Electronics and Computers (IPEC). IEEE, 2022. p. 1203-1206.
- Habeyche, S., Santos, T., Fortes, J., Amorim, A. (2012). Novas formas de divulgação e valorização do patrimônio cultural: estudo de caso no Cemitério Campo Santo, em Salvador - Bahia. In: XXXVI Congresso Brasileiro de Ciências da Comunicação, 2012, São Paulo. Anais... [S.I.]: [s.n.], 2012.
- Jerald, J. (2015). The VR book: Human-centered design for virtual reality. Morgan & Claypool, 2015.
- Kitchenham, B., Charters, S. (2007). Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. Versão 2.3. EBSE Technical Report EBSE-2007-01. Keele University, Staffs, UK; University of Durham, Durham, UK, 9 jul. 2007.
- Lee, E. A. L., Wong, K. W. (2014). Learning with semi-immersive virtual reality: Low spatial ability learners are more positively affected. *Computers & Education*, v. 79, p. 49-58, 2014.
- Melo, P. (2021). Pandemia leva a realidade virtual para além do mercado de games. *TI Inside*, 24 ago. 2021. Disponível em: <https://tiinside.com.br/24/08/2021/pandemia-leva-a-realidade-virtual-para-alem-do-mercado-de-games/>. Acesso em: 03 jan. 2023.
- Moran, K., Gordon, K. (2023). How to conduct a heuristic evaluation. Nielsen Norman Group, 25 jun. 2023. Disponível em: <https://www.nngroup.com/articles/how-to-conduct-a-heuristic-evaluation/>. Acesso em: 8 mar. 2024.
- Nielsen, J. (1994). Severity ratings for usability problems. Nielsen Norman Group, 1 nov. 1994. Disponível em: <https://www.nngroup.com/articles/how-to-rate-the-severity-of-usability-problems/>. Acesso em: 8 mar. 2024.

- Nielsen, J. (2000). Why you only need to test with 5 users. Nielsen Norman Group, 2000.
Disponível em: <https://www.nngroup.com/articles/why-you-only-need-to-test-with-5-users>. Acesso em: 1 mar. 2024.
- Nielsen, J, Landauer, T. K. (1993). A mathematical model of the finding of usability problems. In: Proceedings of The Interact'93 And Chi'93 Conference on Human Factors in Computing Systems, 1993, Amsterdam, The Netherlands. Anais... New York, NY: Association for Computing Machinery, 1993. p. 206-213.
- Oliveira, L. S. (2024). Barreiras e Soluções no Apoio à Acessibilidade e Usabilidade para Pessoas Surdas Pré-Linguísticas em uma Aplicação de Tour Virtual Semi-Imersiva: Um Estudo Exploratório. 2024. 225 f. Dissertação (Mestrado em Informática) – Programa de Pós-Graduação em Informática, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://ppgi.uniriotec.br/download/9031/?tmstv=1753019845>
- Parreira, D. D. J. P. (2021). Design de heurísticas para avaliação de sistemas de realidade virtual semi-imersiva. 2021. 230 f. Tese (Doutorado em Design) – Escola Superior de Desenho Industrial, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.bdtd.uerj.br:8443/bitstream/1/18687/2/Tese%20-%20Diego%20de%20Jesus%20Penaforte%20Parreira%20-%20202021%20-%20Completa.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2024.
- Petersen, K, Vakkalanka, S., Kuznia, L. (2015). Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. Information and Software Technology, v. 64, p. 1-18, 2015.
- Rojas, H., Renteria, R., Acosta, E., Arévalo, H., Pilares, M. (2020). Application of accessibility guidelines in a virtual museum. In: 3rd International Conference of Inclusive Technology and Education (CONTIE), 2020, Baja California Sur, Mexico. Anais... New York: IEEE, 2020. p. 73-79.
- Sacks, O. (1998). Vendo vozes: uma viagem ao mundo dos surdos. São Paulo, Companhia das Letras, 1998.
- Schade, A. (2015). Pilot Testing: Getting It Right (Before) the First Time. Nielsen Norman Group, 5 abr. 2015. Disponível em: <https://www.nngroup.com/articles/pilot-testing/>. Acesso em: 1 mar. 2024.
- Sun, S., Meng, Q., Ma, Y., Ren, Z. (2021). Application of Virtual Reality Technology in Landscape Design. In: International Symposium On Artificial Intelligence And Its Application On Media (ISAIAM), 2021, Xi'an, China, 21 a 23 de maio. Anais... New York: IEEE, 2021. p. 91-95.
- Tori, R., Hounsell, M.S. (2020). Introdução a realidade virtual e aumentada. Sociedade Brasileira de Computação, 2020.
- World Health Organization (2020). Basic ear and hearing care resource. Geneva: World Health Organization, 25 fev. 2020. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/basic-ear-and-hearing-care-resource>. Acesso em: 31 jul. 2024.

World Health Organization (2021). World report on hearing: executive summary. Geneva: World Health Organization, 2021. Disponível em: <https://iris.who.int/handle/10665/339956>. Acesso em: 31 jul. 2024.

Zancan, B. A. G., Guerino, G. C., Godoi, T. X., Trindade, D. F. G., Merlin, J. R., Sgarbi, E. M., Ribeiro, C. E. (2018). Accessibility Guidelines For Virtual Environments. In: Universal Access In Human-Computer Interaction. Virtual, Augmented, and Intelligent Environments: 12th International Conference, Uahci 2018, Held as part of HCI International 2018, Las Vegas, NV, USA, 15-20 jul. 2018. Proceedings. Parte II. New York: Springer International Publishing, 2018. p. 171-183.