



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS QUIXADÁ
CURSO DE GRADUAÇÃO EM DESIGN DIGITAL

ISAAC BRUNO BRANDÃO MAIA LIMA

**ADAPTANDO A INTERFACE DE UMA LOJA ONLINE 2D PARA UM AMBIENTE DE
REALIDADE VIRTUAL 3D NA WEB**

QUIXADÁ

2023

ISAAC BRUNO BRANDÃO MAIA LIMA

ADAPTANDO A INTERFACE DE UMA LOJA ONLINE 2D PARA UM AMBIENTE DE
REALIDADE VIRTUAL 3D NA WEB

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em DESIGN DIGITAL do
CAMPUS QUIXADÁ da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em DESIGN DIGITAL.

Orientador: Prof. Dr. Victor Aguiar Evangelista
de Farias.

QUIXADÁ

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- L698a Lima, Isaac Bruno Brandão Maia.
Adaptando a interface de uma loja online 2D para um ambiente de Realidade Virtual 3D na Web : Uma abordagem minimalista / Isaac Bruno Brandão Maia Lima. – 2023.
82 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá, Curso de Design Digital, Quixadá, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Victor Aguiar Evangelista de Farias.
1. Realidade Virtual. 2. Projeto de sistema centrado no usuário. 3. Comércio Eletrônico. 4. Experiência do usuário. 5. Interfaces de usuário (Sistemas de computação). I. Título.
- CDD 745.40285
-

ISAAC BRUNO BRANDÃO MAIA LIMA

ADAPTANDO A INTERFACE DE UMA LOJA ONLINE 2D PARA UM AMBIENTE DE
REALIDADE VIRTUAL 3D NA WEB

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em DESIGN DIGITAL do
CAMPUS QUIXADÁ da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em DESIGN DIGITAL.

Aprovada em: 17 de Julho de 2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Victor Aguiar Evangelista de
Farias (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. João Vilnei de Oliveira Filho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profª. Dra. Paulyne Matthews Jucá
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À minha família, por suportar a minha ausência durante os últimos meses, e em especial, à minha esposa, que esteve aqui o tempo todo me auxiliando e encorajando nessa jornada. Por me tolerar nos momentos difíceis e por acreditar em mim quando nem eu acreditava.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Victor Aguiar Evangelista de Farias, pela excelente orientação e por toda a paciência comigo durante essa trajetória. Seu pragmatismo e objetividade foram cruciais para me manter focado nas tarefas certas e ajudaram a podar minhas ideias mirabolantes, sempre que possível, reduzindo escopo e lapidando muito o resultado final deste trabalho.

Aos professores participantes da banca examinadora Dr. João Vilnei de Oliveira Filho e Dra. Paulyne Matthews Jucá pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões. Sempre tão dedicados e atenciosos, vocês foram os responsáveis por plantar as sementes que motivaram a realização do projeto de pesquisa em questão.

João com suas aulas de modelagem e animação, aprendeu a modelar em 1 mês para dar aula na primeira turma. Entusiasmado e inspirador, sua paixão pela fantasia, tecnologia e imaginação transborda e empolga as pessoas a sua volta. Foi assim comigo, e foi um prazer tê-lo como professor durante minha jornada. Agradeço ainda pela orientação na ausência do Victor durante o período de dedicação ao doutorado.

Paulyne com a célula de jogos, muitas vezes nos entregando sua sexta a noite. Agradeço por proporcionar o espaço onde tive o primeiro contato com RV e tantas outras coisas que hoje me fazem brilhar os olhos. Gentil, carismática e dedicada, mesmo não tendo sido minha professora oficialmente, tive muitas aulas de programação durante os vários capítulos da série cubos, na companhia do Cezar Filho, Samuel Alves, Adonai Diógenes, entre outros.

Por fim, sou grato aos professores José Neto, Paulo Victor, Ingrid Teixeira, e a todos os demais professores, colegas e servidores com quem partilhei experiências nesse ambiente mágico e de tanto aprendizado que é a Universidade Federal do Ceará (UFC) - Campus Quixadá. Sou grato por todos que participaram direta ou indiretamente do meu processo de formação durante a permanência no curso de Design Digital, que diga-se de passagem, eu aproveitei ao máximo e amei cada instante.

*"Virtual reality is the first step in a grand
adventure into the landscape of the
imagination"* (Frank Biocca et al, 1995, p. 6.)

RESUMO

Com o crescimento contínuo do interesse mundial pela Realidade Virtual (RV), ao longo dos últimos 6 anos a receita global desse mercado só aumentou. PwC (2022) Essa tecnologia, que um dia foi só um sonho e a pouco foi só um *hype*, hoje mostra seu potencial e vem conquistando seu espaço estando cada vez mais presente, se tornando cada vez mais uma "realidade", e abrindo portas para a experimentação de tantas outras, no mundo virtual, mas com impacto direto no mundo real. A aposta e o esforço coletivo das *big techs* na tentativa de construir um Metaverso pode mudar a maneira como interagimos e nos relacionamos uns com os outros na internet reduzindo as barreiras geográficas entre os indivíduos e dificultando ainda mais a percepção dos limites entre a realidade virtual e nossa realidade concreta. Nessa nova camada da realidade, que se projeta como um esboço de Web 3.0, poderemos socializar, nos entreter ou estudar, bem como comprar, empreender ou nos empregar, mas diferente do que acontece hoje, tudo poderá ser gerenciado no ambiente virtual e de forma bem mais imersiva. Nesse ambiente, a RV vai muito além dos jogos digitais, se tornando um dos pilares do ambiente digital, responsável por conectar os usuários a essa realidade paralela. É impossível dizer se, de fato, esse será o futuro, mas o reposicionamento de mercado da gigante Facebook em 2021, apostando alto, a ponto de mudar o próprio nome para Meta, ou ingresso de uma gigante como a Apple nesse segmento com o anúncio de seu *headset Virtual Reality (VR)*, o Vision Pro, com um sistema operacional próprio e a introdução do conceito de computação espacial, são fortes indícios do que podemos esperar. Diante desse cenário, se faz necessário começar a discutir como toda essa experiência no ambiente virtual será construída e como aplicações que não estão naturalmente habituadas à presença de uma terceira dimensão irão se comportar em um espaço 3D. Este trabalho tem como foco adaptar a interface e experiência de uma loja online tradicional em duas dimensões para um ambiente de Realidade Virtual com três dimensões na web, analisando os impactos dessa mudança sobretudo na usabilidade e eficiência dessas interfaces, considerando principalmente o segmento da RV de baixo custo que faz uso de *smartphones* e suportes *Head-mounted display (HMD)*, conhecido como *Mobile Based VR*.

Palavras-chave: Realidade Virtual; RV; VR; WebVR; WebXR; Usabilidade; 3D; e-commerce; UI/UX Design; Mobile Based VR.

ABSTRACT

With the continuous growth of global interest in *VR*, over the last 6 years, the global revenue of this market has only increased. PwC (2022) This technology, which was once just a dream and recently just a hype, is now carving its space and demonstrating its potential, becoming increasingly present, and evolving into a "reality." It is opening doors for experimentation in the virtual world while directly impacting the real world. The collective effort and investment of big tech companies to build a Metaverse can change the way we interact and relate to each other on the internet, breaking down geographic barriers between individuals and blurring the boundaries between virtual reality and our concrete reality. In this new layer of reality, projected as a glimpse of Web 3.0, we can socialize, entertain, study, as well as shop, do business, or find employment. However, unlike the current scenario, everything can be managed in the virtual environment and in a much more immersive way. In this environment, *VR* goes far beyond digital games; it becomes one of the pillars of the digital realm, connecting users to this parallel reality. While it remains uncertain whether this will indeed be the future, the market repositioning of the giant Facebook in 2021, making bold bets to the extent of changing its name to Meta, and the entry of giants like Apple into this segment with the announcement of their Virtual Reality headset, the Vision Pro, featuring its own operating system and the introduction of the concept of spatial computing, are strong indicators of what we can expect. Given this scenario, it is necessary to start discussing how this entire virtual experience will be constructed and how applications that are not naturally accustomed to a three-dimensional presence will behave in a 3D space. This work focuses on adapting the interface and experience of a traditional two-dimensional online store to a three-dimensional Virtual Reality environment on the web, analyzing the impacts of this change, particularly on the usability and efficiency of these interfaces. It mainly considers the low-cost *VR* segment that utilizes smartphones and *HMD* supports, known as Mobile *VR*.

Keywords: Virtual Reality; *VR*; WebVR; WebXR; Usability; 3D; e-commerce; UI/UX Design; Mobile Based *VR*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – "Oculus Rift", protótipos iniciais	14
Figura 2 – Suporte RV para smartphone, Google Cardboard	16
Figura 3 – Headset Samsung Gear VR	20
Figura 4 – Exemplo de realidade virtual semi-imersiva	22
Figura 5 – Exemplo de realidade virtual imersiva de baixo custo	23
Figura 6 – Três graus de liberdade (x, y, z)	24
Figura 7 – Google Cardboard headset VR	25
Figura 8 – Funcionamento da visão estereoscópica	26
Figura 9 – Exemplo de tela com visão estereoscópica	26
Figura 10 – Exemplo de interação simples com raycast	27
Figura 11 – Acessórios para interação com o "HTC Vive"	28
Figura 12 – Adoção do flat design em produtos de grandes marcas	36
Figura 13 – Ícones comuns em interfaces digitais modernas	36
Figura 14 – Adaptação do ambiente desktop 2D em um ambiente de realidade virtual 3D	43
Figura 15 – Estrutura base da cena principal	50
Figura 16 – Boilerplate de introdução do A-Frame	54
Figura 17 – Cena gerada pelo boilerplate de introdução do A-Frame	54
Figura 18 – Esquema da estrutura de cena base	57
Figura 19 – Seções consideradas no ambiente virtual 3D	58
Figura 20 – Umbrella menu com header e links de navegação	59
Figura 21 – Aplicação das fontes Montserrat e Material Icons	60
Figura 22 – Área de conteúdo exibindo uma combinação de produtos para sala	60
Figura 23 – Exibindo popup com ações rápidas do produto no espaço inicial	61
Figura 24 – Listagem de produtos filtrados pela categoria móveis	62
Figura 25 – Exibindo informações textuais sobre o produto	63
Figura 26 – Componente dot-info exibindo informações pontuais	63
Figura 27 – Seção toolbar exibindo ações de configuração	64
Figura 28 – Tela inicial exibindo label do produto	77
Figura 29 – Header e navbar agrupados no menu umbrella	77
Figura 30 – Links para filtrar por categoria	78
Figura 31 – Menu principal e seção cover sem informação	78

Figura 32 – Controles de rolagem na tela de listagem	79
Figura 33 – Poltrona na área de detalhes do produto	79
Figura 34 – Mesa lateral na área de detalhes do produto	80
Figura 35 – Exibição de perfil do quadro Cactus	80
Figura 36 – Componente dot-info exibindo informações da mesa lateral	81
Figura 37 – Seção toolbar, exibindo ações globais	81
Figura 38 – QR Code contendo o link para o sistema	82

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais problemas de usabilidade encontrados	66
Quadro 2 – Descrição dos componentes desenvolvidos	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>3DoF</i>	<i>Three degrees of freedom</i>
<i>6DoF</i>	<i>Six degrees of freedom</i>
<i>API</i>	<i>Application Programming Interface</i>
<i>CAGR</i>	<i>Compound Annual Growth Rate</i>
<i>CAVE</i>	<i>Cave Automatic Virtual Environment</i>
<i>CEO</i>	<i>Chief Executive Officer</i>
<i>DOM</i>	<i>Document Object Model</i>
<i>HMD</i>	<i>Head-mounted display</i>
<i>HTML</i>	<i>HyperText Markup Language</i>
<i>IDC</i>	<i>International Data Corporation</i>
<i>MD</i>	<i>Material Design</i>
<i>NPM</i>	<i>Node Package Manager</i>
<i>OHMD</i>	<i>Optical Head-mounted Display</i>
<i>PC</i>	<i>Personal Computer</i>
<i>POC</i>	<i>Proof of Concept</i>
<i>UI</i>	<i>User Interface</i>
<i>UX</i>	<i>User Experience</i>
<i>VRML</i>	<i>Virtual Reality Model Language</i>
<i>VR</i>	<i>Virtual Reality</i>
<i>W3C</i>	<i>World Wide Web Consortium</i>
<i>WP</i>	<i>Walking Products</i>
<i>IA</i>	<i>Inteligência Artificial</i>
<i>IBGE</i>	<i>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística</i>
<i>RA</i>	<i>Realidade Aumentada</i>
<i>RV</i>	<i>Realidade Virtual</i>
<i>SAC</i>	<i>Serviço de Atendimento ao Consumidor</i>
<i>UFC</i>	<i>Universidade Federal do Ceará</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos	18
<i>1.1.1</i>	<i>Objetivo Geral</i>	<i>18</i>
<i>1.1.2</i>	<i>Objetivos Específicos</i>	<i>18</i>
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	Realidade virtual	19
<i>2.1.1</i>	<i>Breve Histórico</i>	<i>19</i>
<i>2.1.2</i>	<i>Definição</i>	<i>20</i>
<i>2.1.3</i>	<i>Classificação</i>	<i>21</i>
<i>2.1.4</i>	<i>Dispositivos</i>	<i>22</i>
<i>2.1.5</i>	<i>Plataformas</i>	<i>29</i>
2.2	Comércio eletrônico	30
2.3	Usabilidade	32
3	TRABALHOS RELACIONADOS	40
3.1	New directions for the design of virtual reality interfaces to e-commerce sites	40
3.2	Using immersive virtual reality to create presence in online shopping	41
3.3	Designing next generation marketplace: the effect of 3D VR store interface design on shopping behavior	42
4	METODOLOGIA	44
4.1	Levantamento Bibliográfico	44
4.2	Projeto	44
4.3	Prototipagem	44
4.4	Avaliação dos Resultados	45
5	PROJETO	46
5.1	Motivações	46
<i>5.1.1</i>	<i>Realidade virtual de Baixo Custo</i>	<i>46</i>
<i>5.1.2</i>	<i>Mobile Based VR como Porta de Entrada</i>	<i>46</i>
5.2	Limitações e Desafios	47
<i>5.2.1</i>	<i>O Desafio da Translação</i>	<i>47</i>

5.2.2	<i>Sistema de Navegação</i>	48
5.3	Decisões de Design	49
5.3.1	<i>Composição da Cena</i>	49
5.3.2	<i>Estética Minimalista</i>	50
6	DESENVOLVIMENTO	52
6.1	Tecnologias	52
6.1.1	<i>Primeiros Passos</i>	52
6.1.2	<i>A-Frame</i>	53
6.1.3	<i>Componentização</i>	55
6.1.4	<i>Svelte</i>	56
6.2	Ambiente 3D	56
6.2.1	<i>Estrutura base</i>	56
6.2.2	<i>Seções</i>	57
6.2.3	<i>Header</i>	58
6.2.4	<i>Content</i>	59
6.2.5	<i>Detalhes do Produto</i>	61
6.2.6	<i>Toolbar e Cover</i>	64
7	RESULTADOS	65
7.0.1	<i>Lições Aprendidas</i>	69
8	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	71
	REFERÊNCIAS	72
	APÊNDICE A –Biblioteca de componentes	76
	APÊNDICE B – Galeria de imagens	77
	APÊNDICE C –Aplicação	82
C.1	Github Pages	82
C.2	Github Repo	82

1 INTRODUÇÃO

Durante muitos anos, a RV só esteve presente em nosso cotidiano através dos filmes de ficção científica, entretanto o lançamento do "Oculus Rift" em 2012 mostrou que ela havia se tornado não apenas tecnicamente viável, mas que veio para mudar a maneira como construímos e interagimos com interfaces em ambientes virtuais. Embora o conceito da RV não seja novo, só recentemente ela se tornou disponível e acessível para o consumidor. A recente popularização da RV aconteceu principalmente depois da criação do Google Cardboard, (PERLA; HEBBALAGUPPE, 2017) um suporte que permitiu transformar um *smartphone* em um *Headset VR*, com um custo de aproximadamente R\$50,00. Até esse momento, os dispositivos eram caros e as aplicações eram escassas, mas de acordo com o (BLOG, 2016), apenas durante os primeiros 19 meses a plataforma distribuiu mais de 5 milhões de Cardboards, mais de 1000 aplicativos compatíveis foram publicados na loja de *apps* oficial da Google e mais de 25 milhões de instalações foram realizadas.

Figura 1 – "Oculus Rift", protótipos iniciais



Fonte: Hart (2014)

Isso fez com que muitas empresas, pesquisadores e entusiastas voltassem seus olhares para essa aparentemente promissora novidade, dando origem a um tipo específico de

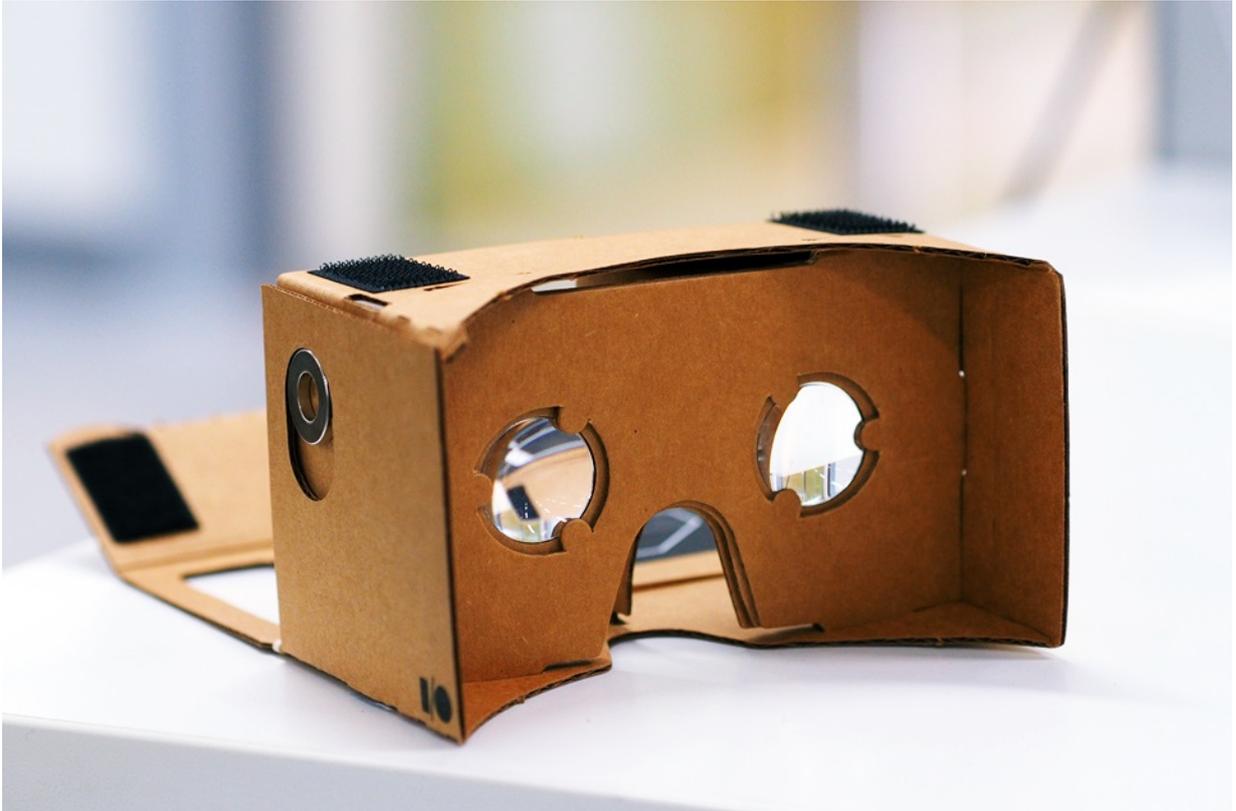
HMD, conhecido como *smartphone-mount* e um segmento de RV de baixo custo que atualmente conhecemos por *Mobile Based VR* (WIKIPEDIA, 2018a). De acordo com dados do *International Data Corporation (IDC)*, esses dispositivos estão entre os que mais atraíram o interesse dos consumidores, sendo atualmente os líderes com a maior fatia dos *headsets VR* existentes no mundo IDC (2018). É bem provável que a principal razão seja o baixo custo de aquisição, o que os torna uma boa porta de entrada para um primeiro contato com a RV.

É possível perceber o aumento do interesse mundial por essa tecnologia nos anos subsequentes quando comparamos a receita global desse mercado de \$6,1 bilhões de investimento entre 2012 e 2015 (LLAMAS; NGAI, 2016) com o investimento 2.1 bilhões (RESEARCH, 2018) apenas no ano de 2016, o que corresponde a mais de 30% do valor investido nos 4 anos anteriores. Em uma pesquisa realizada em Foster e Wheelock (2015), a expectativa dos autores era que em 2020 a receita gerada pela indústria da realidade virtual no mundo todo atingisse à marca de aproximadamente \$21.8 bilhões, com uma *Compound Annual Growth Rate (CAGR)* de 142% e mais de 200 milhões de consumidores realizando a aquisição de algum tipo de *HMD*. Embora não tendo alcançado cifras tão expressivas, o quadro geral ainda parece bastante promissor. Um estudo recente da PwC (2022) apresenta números mais conservadores, apontando uma *CAGR* de aproximadamente 24% de 2017 a 2021 e projeção semelhante até 2026.

Apesar da desaceleração em comparação com o ano de 2016, o cenário geral ainda é de crescimento. De acordo com dados de PwC (2022), o investimento global com realidade virtual em 2021 foi de \$2,6 bilhões, representando um crescimento de 36,5% em relação ao ano anterior. Parte desse crescimento é fruto da recente alta no interesse pela construção de um metaverso, impulsionada principalmente por grandes nomes, como Microsoft, Nvidia, Nike ou porque não o Banco do Brasil. Ao longo dos últimos anos, cada vez mais empresas e indivíduos têm se dedicado à criação de um ambiente digital que possa unificar completamente o mundo real e virtual. A estreita relação desse ambiente com o mercado criptoativos, NFTs e contratos digitais, faz dele uma das principais apostas de investimento dos próximos anos com uma prospecção na casa de trilhões até 2030.

Todo esse movimento motivou um dos principais expoentes dessa nova era digital o fundador e presidente da Facebook Inc, Mark Zuckerberg, a realizar um reposicionamento de sua empresa no mercado alterando inclusive o nome do grupo para Meta em Outubro de 2021. Sendo um dos principais entusiastas do metaverso o *Chief Executive Officer (CEO)* da Meta já demonstra seu interesse por essa ideia desde 2014 quando adquiriu a empresa Oculus

Figura 2 – Suporte RV para smartphone, Google Cardboard



Fonte: Nasalskaya (2017).

VR responsável pela criação do Oculus Rift por um valor de \$2 bilhões. Nessa nova camada da realidade, diversos aspectos da vida humana acabam se cruzando, proporcionando além do entretenimento e do social, o profissional e o comercial. Entusiastas já falam no conceito de web 3.0 e todo esse cenário tem como um de seus pilares a Realidade Virtual, responsável por conectar os indivíduos nesse ambiente digital imersivo. A recente entrada da Apple nesse segmento com o anúncio de seu óculos de realidade virtual no início de Junho de 2023, o Vision Pro, e o conceito de computação espacial só reforça o potencial dessa tecnologia e a necessidade de olharmos para ela como mais do que um *gadget* que melhora a experiência em jogos digitais.

Em um mundo amplamente globalizado, principalmente no contexto de lojas online, onde a concorrência não está limitada a espaços geográficos, a competição é nacional e algumas vezes até internacional. Isso encoraja os vendedores a estar sempre em busca de novidades tecnológicas que possam resultar em vantagens competitivas e ajudá-los a garantir seu espaço no mercado (ZENG; RICHARDSON, 2017). O surgimento do WebVR: uma *API* de integração entre dispositivos de realidade virtual, com aplicações Web, nos trouxe a possibilidade de desfrutar da experiência de RV dentro de um *browser*, com a mesma facilidade que acessamos qualquer outro site. Essa atrativa proposta facilitou o acesso às aplicações, tornado-as mais

convidativas a novos usuários e permitiu que a RV deixasse de ser quase uma exclusividade do mundo do entretenimento e passasse a abranger outros domínios de aplicação - tais como, lojas online, redes sociais, ambientes educacionais e informativos - que são em sua essência plataformas web. Vale lembrar que muitos anos antes um predecessor chamado *Virtual Reality Model Language (VRML)* já permitia a construção e interação com mundos tridimensionais em plataformas web, contudo o conteúdo produzido era bem mais rústico e a *API* não tinha suporte para os dispositivos que existem atualmente.

O advento da realidade virtual no ecossistema web trouxe consigo uma série de questões. A indústria do entretenimento já está bastante familiarizada com aplicações construídas em ambientes 3D, como os jogos e animação, que por vezes imitam o mundo real ou se baseiam nele para criar novos universos. Entretanto, em se tratando de aplicações, como, por exemplo, lojas online, qual seria a forma ideal de se apresentar o conteúdo? Ou de navegar pelo site? Embora a realidade virtual tenha o potencial para tornar a experiência de compra mais natural, atrativa e divertida para os compradores, de acordo com Chittaro e Ranon (2000): "inesperadamente, a usabilidade dessas interfaces é a maior e ainda inexplorada questão".

Um dos maiores desafios em projetar sites de comércio eletrônico é apresentar os produtos de uma maneira fácil e agradável aos consumidores. E uma das prioridades dos comerciantes, tanto nas lojas online quanto nas lojas físicas, é encontrar um ponto de equilíbrio entre um frequente conflito, permitir que o cliente encontre de maneira fácil e rápida o produto desejado e ao mesmo tempo fazer com que o cliente veja, e se possível compre, outros produtos enquanto procura o que deseja (CHITTARO; RANON, 2000). Embora o ideal seja satisfazer a necessidade de ambos os envolvidos, quando os interesses são diretamente conflitantes, é sempre bom ser favorável ao cliente, afinal é no mínimo coerente pensar que melhorar a usabilidade com o foco em satisfazer suas necessidades irá ser consequentemente revertido em benefício para o comerciante: um cliente insatisfeito é quase um sinônimo de prejuízo.

Não é estranho que a grande maioria dos sites de comércio eletrônico disponíveis hoje trabalhem com interfaces de usuário bidimensionais (2D). Isso ocorre, entre outros fatores, por essas serem mais adequadas para tarefas lógicas e analíticas (BOWMAN *et al.*, 2001), pois abstraindo elementos e processos desnecessários, criam metáforas que proporcionam mais conveniência e praticidade aos usuários. E de acordo com Nielsen (2000), projetar as interfaces centradas no usuário é um fator muito importante para o sucesso de qualquer tecnologia.

Com isso em mente, nosso trabalho propõe a construção de um modelo de navegação

híbrido (2D e 3D) a ser implantado em lojas RV na web, com o intuito de melhorar a usabilidade e proporcionar uma experiência mais agradável aos usuários em ambientes virtuais com três dimensões. Partindo de uma abordagem focada no usuário/cliente, tendo como público-alvo especialmente os usuários de *Mobile Based RV*, uma vez que essa tecnologia se encontra mais acessível e que suas limitações implicam em maiores desafios. Durante este trabalho desenvolvemos um protótipo de loja virtual em RV para web onde é possível com o auxílio de algum *HMD* de baixo custo do tipo *smartphone-mount* um usuário imergir nesse ambiente, encontrar produtos, ver informações e interagir com eles inclusive adicionando ao seu carrinho de compras, concluindo assim o fluxo básico da maioria dos *e-commerces*. Os links para acessar a aplicação e o código fonte estão disponíveis no apêndice C.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Adaptar uma experiência de comércio eletrônico tradicional em duas dimensões, para um ambiente de realidade virtual na web com três dimensões, desenvolvendo um modelo de navegação que melhore a usabilidade no contexto de *Mobile Based RV*.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Projetar um modelo de navegação e interação combinando elementos 2D e 3D.
- Desenvolver uma *Proof of Concept (POC)* capaz de materializar o modelo proposto.
- Analisar o protótipo com base em princípios de usabilidade comuns.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Realidade virtual

2.1.1 Breve Histórico

O conceito de realidade virtual não é exatamente novo, os primeiros estudos conhecidos nessa área são datados por volta de 1940 (CORTIZ, 2017). Em 1960, Morton Heilig criou o Sensorama, uma das primeiras máquinas com tecnologia multi sensorial imersiva, com o objetivo de tornar a experiência de assistir filmes mais agradável ao espectador. Seguido por Ivan Sutherland, criador do ultimate display em 1965, e Janet Murray criadora do Hamlet On The Holodeck, em 1997 (CORTIZ, 2017). Mas só recentemente, a tecnologia atingiu um patamar capaz de oferecer os recursos necessários para integrar os principais sentidos humanos, em uma mesma experiência multimídia, com um nível de imersão suficiente para dar ao usuário a real sensação de presença, por meio de um aparelho chamado Oculus Rift, anunciado em 2012 pelo jovem Palmer Luckey em uma campanha no Kickstarter (CORTIZ, 2017).

É importante destacar que muitos dispositivos surgiram antes, mas nenhum capaz de tornar essa tecnologia comercialmente disponível para o consumidor final. O lançamento do dispositivo de Palmer deu um vislumbre do potencial dessa novidade e atraiu os olhares das principais gigantes da tecnologia, entre elas Google, Microsoft, Samsung, HTC, Facebook, Sony, Apple, dentre outras, que passaram a fazer grandes investimentos em pesquisa e desenvolvimento de novos produtos, tanto de software, como de hardware. Embora nesse momento a realidade virtual tenha se tornado tecnicamente viável, algumas barreiras ainda impediam que ela passasse a fazer parte do cotidiano das pessoas, dentre elas: o preço, já que era necessário uma série de equipamentos com tecnologia de ponta para desfrutar dessas novas experiências, o que acabava limitando a RV a um mercado de nicho. Isso continuou sendo verdade até o ano de 2014, quando foi apresentado na Google I/O, conferência anual da Google, o Google Cardboard, desenvolvido pelos engenheiros David Coz e Damien Henry do Google Cultural Institute, em Paris.

A ideia era construir uma plataforma de realidade virtual de baixo custo, possibilitando que usuários transformassem seus *smartphones* em *Headsets VR*, com a ajuda de um simples suporte de papelão, podendo ser comprado ou fabricado a partir das instruções disponíveis no site do projeto. O produto foi um sucesso, permitindo aos usuários que já possuíam um smartphone, desfrutar da experiência de realidade virtual com um custo de aproximadamente

R\$ 50.00, embora um tanto limitada. Desde então várias empresas resolveram investir em produtos similares dando origem a uma grande quantidade de dispositivos, desde suportes para *smartphones* serem usados como *Head Mounted Displays HMD*, que serão explicados com mais detalhes no decorrer desta seção, até dispositivos de entrada e saída como *data gloves*, luvas com resposta tátil para interação com objetos 3D no ambiente virtual.

Figura 3 – Headset Samsung Gear VR



Fonte: Payão (2016).

2.1.2 Definição

O surgimento de tantos dispositivos na tentativa de otimizar e reinventar a forma de experimentar a realidade virtual, acabou por dificultar a delimitação do escopo, bem como uma definição precisa do que a mesma vem a ser. Atualmente existe uma série de definições popularmente aceitas. Embora esse não seja o cenário ideal, diante da falta de padronização dos dispositivos e sua constante evolução, se torna bastante difícil afirmar que qualquer delas está completamente errada ou certa, em geral a definição varia de acordo com o contexto. Dentre elas podemos destacar:

- Qualquer sistema que permite olhar em todas as direções e atualizar o seu ponto de vista passivamente rastreando o movimento de sua cabeça, incluindo *HMDs* e *Cave Automatic Virtual Environments (CAVEs)*. (PAUSCH *et al.*, 1997).

- Um ambiente real ou simulado no qual um receptor experimenta telepresença (a sensação de estar em um ambiente virtual). (STEUER, 1992).
- Um ambiente 3D computacional e interativo no qual pessoas tornam-se imersas. (WEXELBLAT, 2014).
- O uso de um ambiente computacional 3D que alguém possa navegar e possivelmente interagir com ele, resultando numa simulação em tempo real de um ou mais dos cinco sentidos do usuário. (GUTTENTAG, 2010).

Algumas definições estão mais preocupadas em definir a experiência e acabam sendo notoriamente mais genéricas, enquanto outras têm se concentrado mais na tecnologia envolvida, à medida em que fazem indicação do equipamento necessário, acabam especificando melhor a que tipo de experiência estão se referindo como RV. Dentre elas, optamos por adotar uma das que melhor resume o cenário atual a que nos referimos por RV e pode ser encontrada em WIKIPEDIA (2018b) “A realidade virtual é um cenário gerado por computador que simula experiências através da percepção e sentidos. O ambiente imersivo pode ser similar ao mundo real, ou ele pode ser fictício, criando uma experiência impossível na nossa realidade física.”

2.1.3 Classificação

Devido a dificuldade de apresentar uma definição adequada para uma área tão abrangente e heterogênea como essa, Sherman e Craig (2002) definiram que “os elementos chaves na experiência de realidade virtual, ou qualquer realidade dentro desse contexto são um mundo virtual, imersão, feedback sensorial (respondendo a interação do usuário) e interatividade”. Tendo em mente as diversas formas pelas quais a realidade virtual pode ser experimentada, com grande variedade de equipamentos e com diferentes níveis de imersão, ela pode ser classificada em três tipos distintos, RV não imersiva, semi-imersiva e imersiva.

A RV não imersiva é: “Onde o conteúdo de RV é exibido por meio da tela de um computador, e a interação com o ambiente virtual ocorre através dos meios tradicionais, como teclado e mouse, comumente usada por populares jogos sociais 3D, como Second Life e Minecraft.” (COSTELLO, 1997). Embora o nível de imersão seja consideravelmente mais baixo, é perfeitamente possível simular um ambiente tridimensional em telas bidimensionais. E isso é fundamental para manter a compatibilidade do conteúdo de RV com dispositivos que não dispõem de um sensor capaz de rastrear o movimento, ou que simplesmente não são apropriados para ficar presos a sua cabeça como no caso dos *desktops*.

RV semi imersiva: “se refere a sistemas com alta performance gráfica e usando um ou mais monitores grandes ou projeções de tela para prover um amplo campo de visão.” (ZENG; RICHARDSON, 2016). Tais sistema são capazes de proporcionar um maior nível de imersão uma vez que dispõem de dispositivos e recursos especializados, frequentemente utilizado por *gamers* para aumentar a imersão no jogo e melhorar sua experiência.

Figura 4 – Exemplo de realidade virtual semi-imersiva



Fonte: Lg (2018).

RV imersiva: “é onde o usuário está completamente envolvido pelo ambiente virtual e não sente qualquer interação com o mundo real.” (WITMER; SINGER, 1998). Para tais contextos normalmente se faz uso de algum tipo de *HMD*, em conjunto com algum dispositivo/mecanismo de interação para receber os comandos de entrada e saída dos usuários, o que possibilita ao usuário a experiência mais real possível.

2.1.4 Dispositivos

Para fazer uso de qualquer sistema computacional interativo são necessários dispositivos de entrada e de saída, na realidade virtual não é diferente. Como observamos na seção anterior, existe uma ampla variedade de equipamentos e técnicas envolvidos no funcionamento da realidade virtual. Contudo, no contexto de RV imersiva, existe em especial um dispositivo que é fundamental, o *headset* de RV, ou como é popularmente conhecido, o *HMD*.

Figura 5 – Exemplo de realidade virtual imersiva de baixo custo



Fonte: Google (2018).

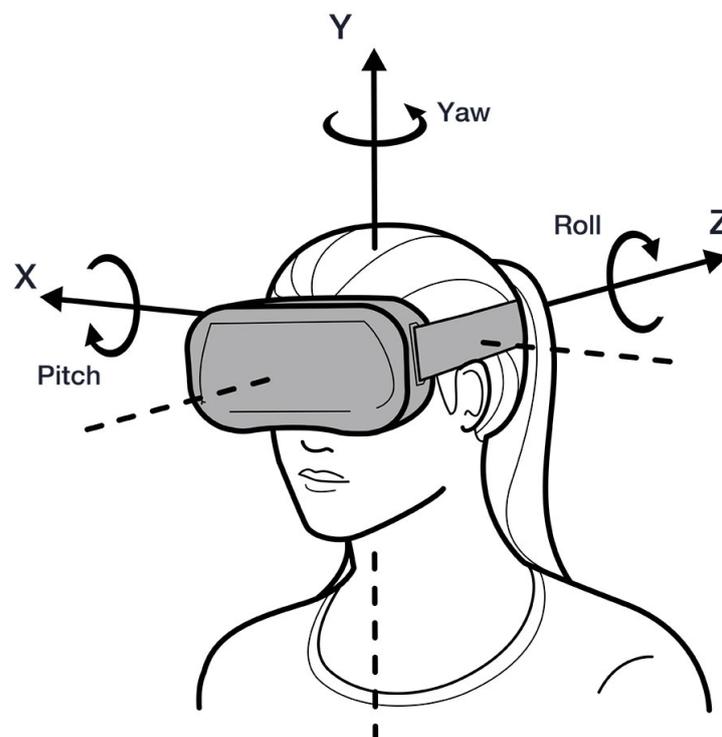
Para a realidade virtual, no sentido mais amplo, um *HMD* é qualquer dispositivo capaz de atualizar automaticamente a imagem na tela, com base no posicionamento da cabeça do usuário. (VRS, 2018) De acordo com XINREALITY (2018), esses dispositivos são comumente divididos em três grupos distintos, *Slide-on HMD*, *Discrete HMD*, *Integrated HMD*. Os *Slide-on*, também conhecidos como *smartphone mount*, consiste em um suporte com um par de lentes, onde o usuário acopla o *smartphone* para desfrutar da experiência de RV. É portanto a forma mais barata e acessível de RV, pois todo o processamento, rastreamento e exibição da imagem é realizado pelo *smartphone*, dispensando o uso dessas tecnologias nos *HMDs*. Alguns exemplos são "Google Daydream View (descontinuado)", "Samsung Gear RV", ou mesmo o "Google Cardboard".

Os *Discrete HMDs*, também chamados de *Tethered HMDs*, fornecem tudo que é necessário para uma experiência de RV imersiva, exceto o processamento. Ele integra uma tela, lentes, rastreamento de posição e rotação, áudio e dispositivos de entrada avançados. O processamento fica a cargo de um computador externo conectado via cabos, embora isso reduza um pouco a mobilidade desses dispositivos, os ganhos de performance são bastante expressivos, o que o torna ideal para jogos, entre outras aplicações com requisitos gráficos mais elevados. Alguns exemplos são "Oculus Rift", desenvolvido por Palmer Luckey, mais tarde comprado pelo Facebook e o "HTC Vive" desenvolvido pela própria HTC.

Os *Integrated HMDs*, são o tipo mais sofisticado, completo e caro no mercado. Isso decorre do fato de ele ser um dispositivo totalmente independente, capaz de oferecer a experiência completa de RV ou Realidade Aumentada (RA) sem a necessidade de nenhum hardware externo como *Personal Computer (PC)* ou smartphone. Eles têm tudo, desde a tela até os processadores e câmeras. Atualmente a maioria desses dispositivos são voltados para RV, e estão presentes no segmento empresarial. Alguns exemplos são o "Microsoft HoloLens", "Google Glass" e "Magic Leap". Existe ainda um tipo especial, conhecido como *Optical Head-mounted Display (OHMD)*, cujo visor é parcialmente translúcido, e as imagens virtuais projetadas sobre ele, se misturam com as imagens do mundo real, criando o que chamamos de Realidade Aumentada RA.

Podemos então entender esses equipamentos como sendo, basicamente, telas presas à cabeça do usuário, conectadas a um computador, que pode ser integrado ou externo, e com a ajuda de um conjunto de sensores, são capazes de reproduzir o conteúdo em uma visão estereoscópica, que por sua vez consiste em dividir a tela ao meio e projetar com a devida distorção uma imagem para cada olho, simulando a profundidade e dando a ilusão de um ambiente verdadeiramente tridimensional. Tais equipamentos utilizam principalmente do sensor de giroscópio para rastrear o posicionamento da cabeça do usuário em três graus de liberdade *Three degrees of freedom (3DoF)*, no caso a rotação nos eixos X, Y, e Z, essa técnica é conhecida como *head tracking*.

Figura 6 – Três graus de liberdade (x, y, z)



É preciso mencionar que, nenhuma invenção propriamente dita foi necessária para que a RV pudesse vir a tona em 2014. Com exceção do próprio *headset*, nada completamente novo foi criado, inclusive todos os componentes necessários já estavam presentes em alguns dispositivos, mesmo antes do surgimento do famoso "Oculus Rift", nos *smartphones*. Na tentativa de fomentar a realidade virtual encorajando a uma primeira experiência com essa tecnologia, com um pouco de design, engenharia e programação, em pouco tempo a Google criou o Google Cardboard, um suporte construído de papelão que possibilitou indivíduos usarem um *smartphone* como *HMD Slide-on*, desde que contendo os requisitos de hardware necessários.

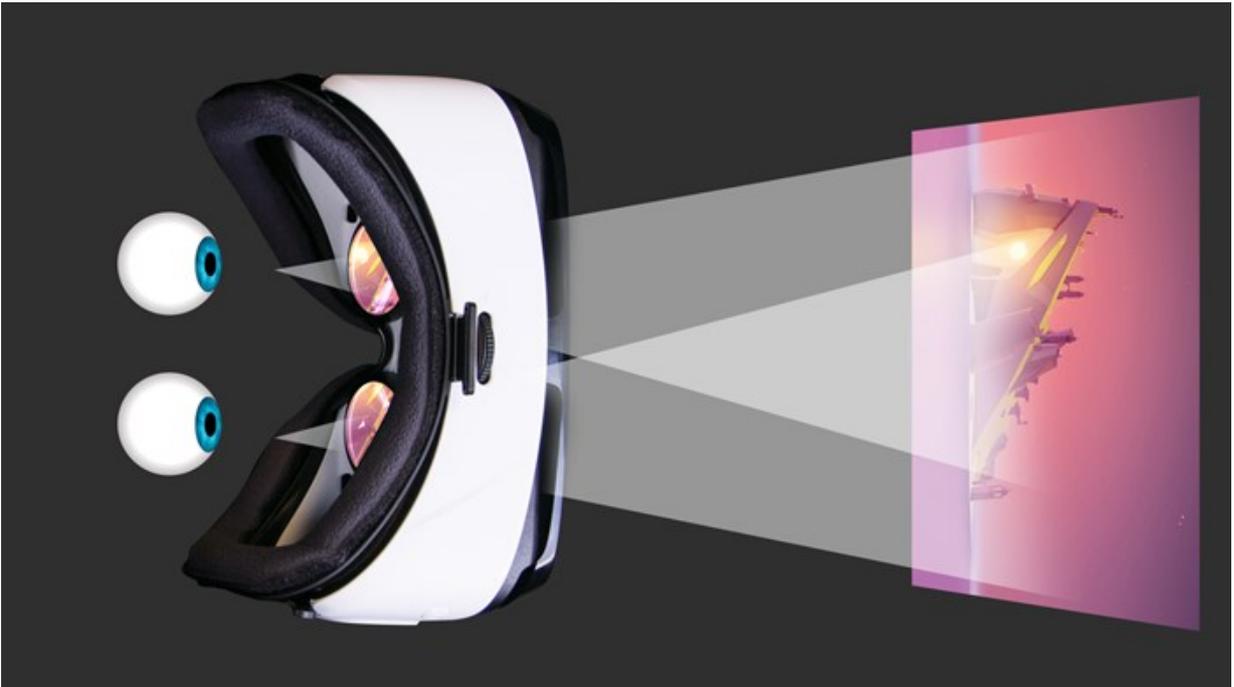
Figura 7 – Google Cardboard headset VR



Fonte: Google (2018).

O aspecto meio que prototipal e pouco ergonômico do *headset* pode não ter sido muito agradável mas ele cumpriu bem ao seu propósito, sua criação despertou o interesse tanto de desenvolvedores quanto de usuários, dando origem a um segmento de RV de baixo custo que hoje chamamos de *Mobile Based VR*, e também fez com que vários outros fabricantes apostando nessa ideia criassem produtos similares, baseados na ideia inicial do Cardboard de usar *smartphones* como núcleo de processamento e renderização, mantendo assim um custo significativamente baixo, contudo muito mais confortáveis, práticos e atraentes aos olhos do consumidor, incluindo a própria Google, com a criação do Daydream View, um intermediário.

Figura 8 – Funcionamento da visão estereoscópica



Fonte: Payão (2016).

Figura 9 – Exemplo de tela com visão estereoscópica

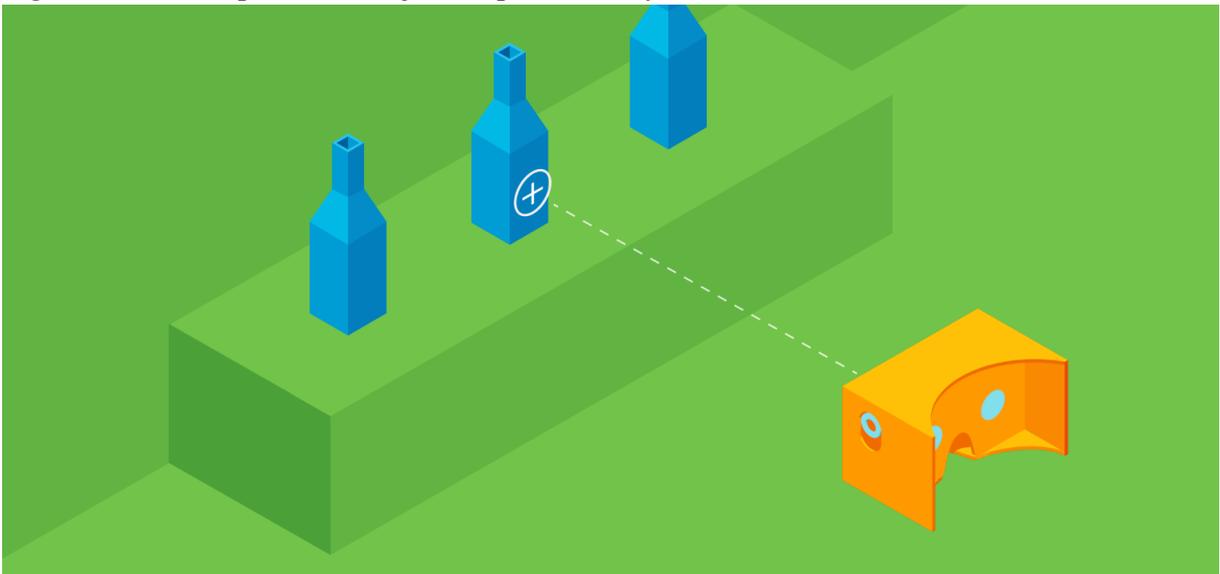


Fonte: Luukkonen (2016).

Até agora falamos apenas dos dispositivos de saída, os dispositivos de entrada por sua vez são muito diversificados e mais difíceis de serem padronizados, pois cada fabricante tem investido e avançado por diferentes caminhos. Entre os dispositivos top de linha podemos facilmente encontrar controles com sensores de movimento e sensíveis ao toque, para rastrear o movimento dos braços e fornecer entradas. A maioria deles funciona de modo similar a um

mouse, mas devido ao ambiente tridimensional o cursor que antes era um único ponto rastreando um par de coordenadas X e Y como entrada, agora ganha mais uma dimensão e se torna uma linha, ou podemos dizer um raio, nos dando também uma informação de profundidade, a posição de nosso cursor ao longo do eixo Z de nosso ambiente 3D, como observamos na figura 10.

Figura 10 – Exemplo de interação simples com raycast



Fonte: Google (2017).

Também são comuns sensores infravermelho para rastrear a translação do indivíduo no espaço físico e mapear no espaço virtual, esteiras omnidirecionais, luvas com feedback tátil, que são tanto de entrada como de saída, entre muitos outros. Entretanto, os dispositivos RV de baixo custo não costumam acompanhar nenhum dos periféricos citados acima e como a tela do smartphone fica inacessível quando acoplada ao suporte, na maioria dos casos o usuário dispõe de um único botão para todas as interações como é o caso do Cardboard.

Os demais recursos já disponíveis no smartphone como microfones, também podem ser usados para criar mecanismos de interação, como por exemplo comandos de voz. Além do que ainda é possível parear via *bluetooth* periféricos de terceiros, como *joysticks*, microfones, *headphones*, etc. Alguns *headsets* já incluem um *headphone* como parte do pacote, todavia é mais comum eles serem adquiridos separadamente. Embora em um contexto mais purista a RV busca alcançar os cinco sentidos humanos, no mercado atual é comum encontrar produtos focados apenas na visão e na audição, logo, além do smartphone e do *HMD* um bom par de *headphones* é recomendado para garantir uma experiência com um bom nível de imersão. No entanto, em alguns casos pode ser difícil utilizar o *headphone* com o óculos no rosto.

Figura 11 – Acessórios para interação com o "HTC Vive"



Fonte: HTC (2018).

O presente estudo se concentra principalmente na RV imersiva, tendo em mente que devido ao breve tempo que passou a fazer parte de nossas vidas, muito pouco sabemos sobre como construir ambientes virtuais mais usáveis em três dimensões. E é no mínimo razoável inferir que dificilmente um usuário comum se sentiria interessado em desembolsar um valor na casa dos milhares de reais, por uma tecnologia que ele mal conhece, cujo o principal intuito seja realizar compras online. Logo, para tornar viável a aplicação dessa tecnologia ao comércio eletrônico é necessário reduzir ao máximo as barreiras de entrada para o consumidor. Sabendo isso, decidimos focar especialmente em dispositivos de baixo custo, como o Google Cardboard, visto que são os grandes responsáveis pela popularização da tecnologia de RV até o momento, e por serem os mais acessíveis a grande parte da população. O fato é que as limitações encontradas nesses dispositivos dificultam não apenas a navegação, que é o nosso foco, mas a interação de modo geral, tornando o desafio de trabalhar com RV ainda maior.

2.1.5 Plataformas

Até o momento, a grande maioria do conteúdo produzido para realidade virtual que conhecemos chega até nós por meio de aplicações *stand-alone*. Basicamente, são aplicações que não necessitam de nenhum recurso externo para funcionar, seja um interpretador de comandos, uma máquina virtual como no caso do java, ou o acesso a um banco de dados remoto. Apesar de isso soar como algo positivo, nem sempre é, pois implica na necessidade de baixar um pacote e instalar para fazer uso dessa aplicação, o que não parece muito atrativo e pode ser até difícil para usuários menos experientes.

Isso se deu devido à necessidade de uma capacidade de processamento considerável para executar essas aplicações com ambientes tridimensionais e imagens estereoscópicas. Mas ao passo que os dispositivos se tornaram mais robustos, os *browsers* também foram beneficiados. Novos recursos foram incluídos, tornando computacionalmente viável desfrutar da experiência de RV com a mesma facilidade que se acessa um site. Os avanços levaram a principal organização de padronização da *Web*, o *World Wide Web Consortium (W3C)*, a se apressar em definir especificações para a *WebVR*, uma *Application Programming Interface (API)* Javascript de integração de dispositivos de realidade virtual, óculos, controles e sensores, com aplicações *Web*. Criada por Vladimir Vukićević trabalhando em conjunto com outros membros da equipe da Mozilla no ano de 2014. A novidade abriu as portas para desenvolvedores começarem a projetar suas aplicações de RV pensadas especificamente para ambientes *web*.

O surgimento da *WebVR* acabou por favorecer a aplicação da realidade virtual para o comércio eletrônico, uma vez que até o presente momento o comércio eletrônico é majoritariamente baseado em sistemas *web*, com as tradicionais páginas 2D. O que é bastante compreensível, pois manter várias aplicações instaladas no melhor dos casos consumindo apenas espaço de armazenamento, na expectativa de realizar compras esporadicamente, não parece nem um pouco atrativo, considerando do ponto de vista do usuário.

Cortiz (2017) enxerga a plataforma *Web* como sendo o grande ponto de convergência entre todas as tecnologias, o autor afirma que “a *web* já havia se encarregado de conectar pessoas geograficamente separadas por meio de dados, mensagens e vídeos. A realidade virtual chega para conectá-las por meio de seus sentidos” (CORTIZ, 2017). O que pode ser muito bem aproveitado para conectar pessoas a produtos dentro de uma experiência de compra em lojas online, aproveitando as características do ambiente de natureza virtual, para despertar e impulsionar o desejo de compra do cliente. Ele ainda vai além afirmando que “a *Web* como

um todo deve ser impactada nos próximos anos, e esse impacto deve acontecer de uma maneira disruptiva, com a Web se tornando a principal plataforma para os projetos de realidade virtual” (CORTIZ, 2017).

2.2 Comércio eletrônico

As vantagens da realidade virtual podem ser facilmente percebidas no que diz respeito a entretenimento, indústria de jogos, do cinema, entre outras, que em sua natureza já apresentavam uma experiência tridimensional. A indústria do entretenimento teve muitos avanços ao longo dos últimos anos, tanto produzindo como aprimorando técnicas e dispositivos capazes de proporcionar ao usuário cada vez mais imersão. No entanto, no contexto de compras online, o mercado de comércio eletrônico está amplamente fundamentado na construção de sites, que por sua vez são essencialmente bidimensionais (CHITTARO; RANON, 2002) e os benefícios do uso dessa tecnologia para o comércio eletrônico podem não ser tão claros.

Segundo Zeng e Richardson (2017) “vendedores estão sempre procurando vantagens competitivas para atrair os consumidores através da adoção de tecnologia digital de ponta e inovações, tais como modelos 3D de produtos, imagens panorâmicas e realidade virtual.” Todavia é preciso deixar claro as potenciais vantagens encontradas nessa tecnologia para justificar o investimento dos varejistas em migrar de suas tradicionais páginas 2D para um ambiente virtual emulando uma terceira dimensão, ou mesmo investir em uma experiência complementar, afinal o comércio eletrônico é antes de tudo um comércio. Yeh *et al.* (2017) descobriu em sua pesquisa que “comparado com imagens estáticas a realidade virtual gera respostas altamente positivas dos consumidores como atenção, interesse, desejo e ações.” Considerando o efeito gerado no usuário pela apresentação de produtos em 3D a pergunta que fica é: qual seria o modelo ideal para a construção de lojas online em ambientes virtuais com três dimensões? A resposta para essa pergunta não é nada simples.

Nos últimos anos, grandes empresas de tecnologia interessadas na área, como, Google e Facebook têm contribuído de forma significativa apontado princípios importantes para proporcionar a melhor experiência possível no contexto de RV, mas ainda não existem padrões ou modelos consolidados que possam ser seguidos, e quando se trata especificamente de lojas virtuais o terreno é ainda mais incógnito. Se muita coisa já podia ser feita em web sites com duas dimensões o fato de dispor de uma terceira dimensão abre margem para repensar e construir até então inimagináveis experiências. Dentre elas, é recorrente que quando pensamos em compras

online a primeira ideia que venha a nossa cabeça seja, reconstruir toda a experiência encontrada em lojas físicas dentro de um ambiente virtual, algo como um simulador de compras. Mas será que é realmente o que mais importa para o usuário?

No dia 19 de Maio de 2016, um dos maiores representantes do comércio eletrônico mundial, o Ebay, em parceria com o Myer lançou um aplicativo para *smartphones* que chamaram de world's first VR department store app. Usando um simples Cardboard ou qualquer outro *headset VR*, os consumidores podiam visitar um departamento em RV personalizado, onde podiam visualizar e interagir com vários modelos 3D de produto. Em uma proposta ainda mais ambiciosa, o Alibaba, outro gigante do segmento de comércio eletrônico, lançou em 1 de Novembro de 2016, o Buy+ VR store app. O foco principal era prover a experiência encontrada em lojas estrangeiras, que não estão presentes fisicamente na China, como Macy's e Chemist Warehouse. Na tentativa de oferecer uma experiência mais realista, a loja continha não apenas modelos 3D de produtos mas todo o ambiente da loja física, representado por imagens em 360 graus, onde o usuário percorria e explorava a loja. (ZENG; RICHARDSON, 2017)

Pensada e projetada para dispositivos mais completos como o "HTC Vive", a aplicação se saiu muito bem quando apresentada aos consumidores durante o evento de lançamento, no entanto, quando lançada a público, ela foi adaptada para funcionar com os *HMDs cardboard-like*, já que nem todos os potenciais consumidores dispõem de um *headset* avançado como "HTC Vive". Curiosamente após o lançamento não houve muitas atualizações da aplicação ou notícias sobre o seu impacto no aumento das vendas. Isso mostra, de acordo com Zeng e Richardson (2017), que o valor pragmático da *Mobile Based VR* parece ser fraco. No entanto, mesmo conhecendo as suas limitações, é comum encontrar empecilhos ao experimentar com *headsets* de baixo custo, aplicações projetadas para dispositivos top de linha. Acreditamos que essas aplicações podem ter um melhor funcionamento se forem pensadas desde o início em soluções para os dispositivos mais simples melhorando a usabilidade e *User Experience (UX)*.

Conforme Kang (2017) “uma das direções de design para ambientes 3D é projetar espaços virtuais que se assemelham com seus equivalentes no mundo real.” Muitos estudos têm seguido por esse caminho, reformulando diretrizes do mundo real para trabalharem no ambiente virtual, na tentativa de satisfazer não apenas as necessidade racionais, mas também as emocionais dos consumidores. Essa é uma linha de pensamentos que conhecemos no design como skeuomorfismo, que consiste em utilizar elementos visuais do mundo real para criar metáforas na interface. As representações tendem a ser bastante fiéis ao que conhecemos no

mundo real. Embora essa teoricamente pareça ser a melhor abordagem, ela traz consigo uma série de implicações, como a necessidade de equipamento mais sofisticado, largura de banda das conexões, capacidade de processamento dos dispositivos, volume de dados por aplicação muito superior ao das páginas web tradicionais, entre outras. Todas essas questões acabam tornando o desenvolvimento de uma solução como essa muito mais custoso, dificultando sua aceitação por parte dos comerciantes e a tornando até o presente momento inviável como modelo para implantação em larga escala.

Se por um lado a complexidade trazida por uma abordagem skeumórfica pode ser prejudicial em alguns aspectos, ela pode ser muito bem vinda em outros. O nível de abstração apresentado pelo skeumorfismo é muito baixo, ou nenhum, isso garante uma experiência no geral mais realista, o que reduz a curva de aprendizado da interface, tornando o ato de compra online mais familiar, natural e próximo do que conhecemos no mundo real. Isso pode ajudar a gerar empatia no consumidor e estimular seu desejo de compra. Suh e Lee (2005) usaram a Teoria do Ajuste Cognitivo para mostrar a superioridade da RV sobre interfaces estáticas em aumentar o conhecimento e percepção do consumidor sobre o produto e influenciando a sua intenção de compra. E no ano seguinte Suh e Chang (2006) usando a teoria da negatividade generalizada constataram que comparado com imagens e vídeos, a RV reduz o risco de impressões erradas acerca do produto, bem como a discrepância entre o produto apresentado e o produto recebido.

Isso nos ajuda perceber que a grande contribuição da RV para o contexto de comércio eletrônico não está necessariamente em reproduzir a experiência completa de comprar em uma loja física, e sim na experiência do cliente com o produto. A capacidade de visualizar o produto em 3D, poder rotacioná-lo, tendo uma melhor compreensão de suas dimensões, incluído o volume, e poder inclusive visualizar o mesmo em um ambiente similar ao seu contexto de uso antes mesmo de comprar, são a princípio características desejáveis para um consumidor e podem se tornar vantagens competitivas dentro de uma loja online.

2.3 Usabilidade

De acordo com Chittaro e Ranon (2002), um dos principais desafios para o comércio eletrônico é projetar sites capazes de apresentar os produtos de maneira eficaz, isso envolve possibilitar aos consumidores encontrar e interagir com eles de maneira fácil e agradável. Estudos de usabilidade na década de 90 já apontavam que consumidores com dificuldades para encontrar o produto desejado ou mesmo abandonando seu carrinho após terem encontrado o produto

são problemas recorrentes na maioria dos sites de comércio eletrônico. E grande parte dos fatores que ocasionam esses problemas estão relacionados a questões de design, Interação Humano-Computador (IHC) e usabilidade. (TILSON *et al.*, 1998)

Embora a usabilidade não seja exatamente uma novidade, ela se tornou bastante popular com a expansão do mundo Mobile, telas menores passaram a exigir melhores soluções para apresentar o conteúdo, a medida que cresceu a frequência de acesso através dessa mídia cresceu também o grau de exigência desses usuários de modo que a maioria deles tende a abandonar a página se essa não oferecer uma boa experiência. (CAELUM, 2020) Para aprofundar um pouco mais nossa discussão, precisamos compreender melhor o que exatamente entendemos quando nos referimos ao termo usabilidade.

O grau em que um produto é usado por usuários específicos para atingir objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto de uso específico. (ISO, 1998, p. 6)

De acordo com a definição da norma de ergonomia e usabilidade apresentada acima, todos os fatores, eficácia, eficiência e satisfação são igualmente importantes. Durante muitos anos os sistemas interativos foram usados quase que exclusivamente para fins profissionais, onde os usuários quase sempre eram profissionais treinados para operar tal ferramenta o que levou os desenvolvedores a focarem especialmente na eficácia e na eficiência, enquanto a experiência do usuário era vista com menor importância quando não ignorada por completo. A inclusão desses sistemas em diversas atividades humanas (entretenimento, educação, saúde, política) e em diversos locais (no trabalho, em casa, na escola, no hospital, no shopping) aumentou a necessidade de se pensar sobre a influência de seu uso sobre os sentimentos e emoções do usuário. (BARBOSA; SILVA, 2010)

É curioso perceber que o efeito contrário vem ocorrendo com as interfaces 3D, especialmente aquelas projetadas para sistemas de realidade virtual. Uma vez que elas sempre estiveram mais presentes no mundo do entretenimento o foco principal sempre foi na experiência do usuário, na tentativa de proporcionar cada vez mais imersão. Nesse cenário, entendemos que, a medida que buscamos aplicar essa tecnologia em outros contextos como no nosso caso comércio eletrônico, cresce a necessidade de atentar para a eficácia e eficiência das soluções propostas nessas interfaces. Ainda na tentativa de elucidar o conceito de usabilidade, o renomado cientista e pesquisador Dr. Jakob Nielsen nos fornece uma definição um pouco mais completa do que vem a ser, e que melhor se aplica ao contexto de um produto digital.

A usabilidade é um atributo de qualidade relacionado à facilidade de uso de algo. Mais especificamente, refere-se à rapidez com que os usuários podem aprender a usar alguma coisa, a eficiência deles ao usá-la, o quanto lembram daquilo, seu grau de propensão a erros e o quanto gostam de utilizá-la. Se as pessoas não puderem ou não utilizarem um recurso, ele pode muito bem não existir. (NIELSEN; LORANGER, 2007)

Em seus experimentos, Chittaro e Ranon (2002) constroem um protótipo de *e-commerce* em um ambiente tridimensional, com produtos dispostos em prateleiras e bancadas, espalhadas pela loja, no geral uma experiência muito similar a que encontramos em uma loja física no mundo real. Contudo define como principal mecânica de navegação um recurso que decidiram chamar de *Walking Products* (*WPs*). Os *WPs* são modelos 3D humanoides de produtos existentes na loja, que controlados por uma inteligência artificial (IA) passeiam pela loja, guiando o cliente até a prateleira do respectivo produto representado, caso o cliente deseje segui-los. Essa parece ser uma solução divertida para uma primeira experiência, e ideal para aquele cliente que não sabe bem o que procura, gosta de descobrir novos produtos e deseja explorar a loja, já que ele vai vendo tudo durante o percurso enquanto segue o *WP*, e pode inclusive parar ou mudar de trajetória passando a seguir outro *WP* a qualquer momento.

Esse mecanismo de navegação acaba beneficiando diretamente os comerciantes, sabendo que quanto mais produtos o cliente vê maiores são as chances de uma compra ser efetivada. Entretanto, imaginemos um outro cenário, por exemplo onde o cliente já sabe exatamente o que procura, está atrasado para um compromisso e deseja apenas realizar uma compra para garantir que ela seja entregue dentro do prazo desejado. Ele pode se sentir frustrado de ter que esperar vários segundos, ou mesmo minutos, seguindo o *WP* até chegar ao local desejado e retornar, enquanto uma barra de busca faria o mesmo trabalho em poucos segundos e alguns *clicks*. A situação pode se agravar bastante em decorrência da quantidade de produtos na lista do cliente, ou em função das dimensões da loja em questão.

Diante desse cenário, imaginamos o inconveniente, caso esse mesmo cliente decida realizar um comparativo entre os preços de várias lojas, tendo em vista que esse é um dos maiores benefícios de se fazer compras online. Ele teria de passar pelo mesmo transtorno em *N* lojas diferentes supondo que todas adotem o mesmo sistema de navegação dessa forma o desconforto tende a se multiplicar de forma exponencial. Logo, é perceptível que a eficiência desse mecanismo deixa a desejar, especialmente no que diz respeito às necessidades do cliente com um estilo de compra racional, que por sua vez é justamente o mais adepto a realização de compras em lojas virtuais. Embora o sucesso do negócio dependa do equilíbrio entre os

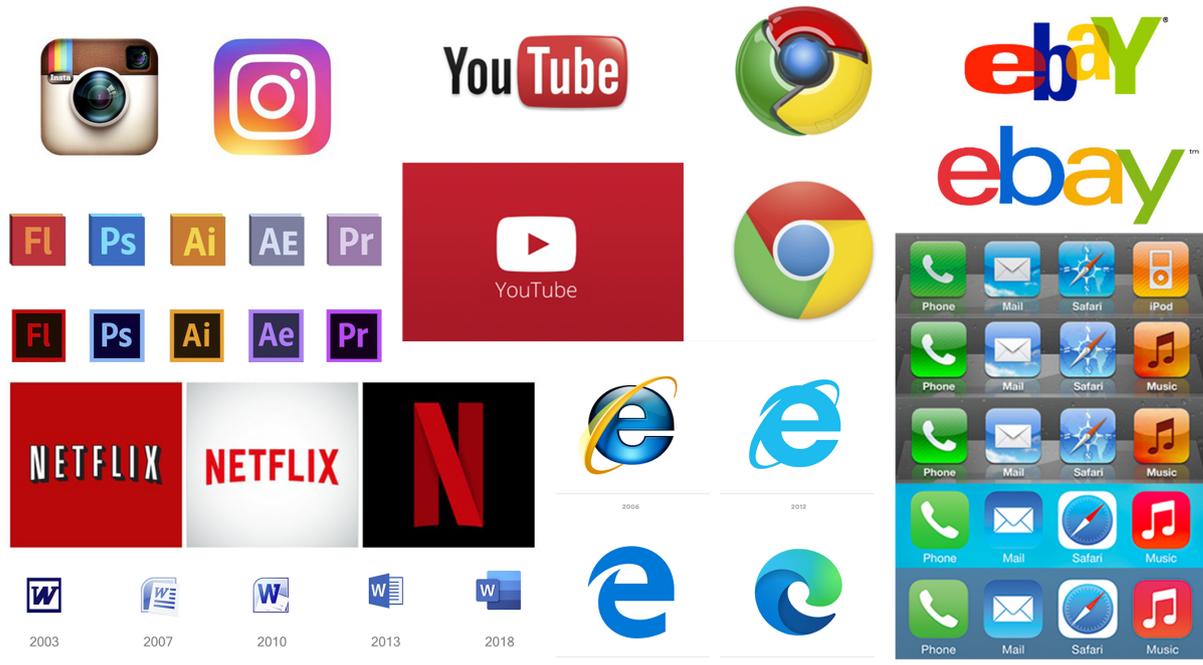
interesses de ambos os envolvidos, a usabilidade tem como prioridade a necessidade do usuário.

Na tentativa de construir interfaces fáceis de usar, outro ponto importante a ser considerado são as *affordances*. Definido inicialmente na psicologia e adaptado por Norman (1988), o conceito de *affordance* consiste no conjunto de características capazes de revelar aos usuários as operações e manipulações que eles podem realizar com um objeto. No mundo digital, isso não é diferente. Os *affordances* estão presentes nas metáforas existentes nos elementos visuais que compõem a interface, que por sua vez se baseiam em objetos do mundo físico, isso faz com que o usuário exerça um menor esforço para compreender o funcionamento da interface, por meio da associação com objetos que ele já conhece.

Entretanto, tal recurso pode se tornar acidentalmente um problema, fazendo com que o usuário pressuponha determinado comportamento da interface que na prática funciona de forma diferente ou que simplesmente não existe, sendo assim caracterizado como uma falsa *affordance*. Essa situação tende a ocorrer com maior frequência em interfaces baseadas no modelo skeumórfico, uma vez que elas prezam por oferecer representações visuais mais realistas é comum que alguns elementos existentes na interface sejam apenas parte da composição da cena, logo, não interativos. Aplicações em geral costumam atender a demandas específicas de um contexto e na maioria dos casos não têm a pretensão de atuar como um simulador de vida real. Por mais real que seja a experiência oferecida é provável que ela não disponha de todas as possibilidades existentes em uma loja física, fazendo com que as falsas *affordances* facilmente se tornem um embaraço, confundindo o usuário acerca do funcionamento da interface.

A disputa entre skeumorfismo e flat design nas tradicionais interfaces 2D já é algo bastante conhecido na área do design e apesar de alguns não serem muito adeptos do flat ao que parece ele vem vencendo essa disputa ao longo dos últimos anos ganhando espaço não apenas em interfaces mas em marcas, peças gráficas e identidades visuais de modo geral. Basta olhar para a maioria dos produtos produzidos pelas grandes empresas de tecnologia a nossa volta. Empresas como a Google, Apple e Microsoft têm reconfigurado todo o seu eco-sistema sob diretrizes de uma linguagem visual fortemente inspirada na tendência flat. Essa popularização se dá por diversos fatores, como, por exemplo, o custo computacional. “Enquanto skeumorfismo ajuda usuários a entender o propósito da aplicação quase imediatamente, ele tem atraído muitas críticas porque torna as interações desnecessariamente complexas.” (PAGE, 2014).

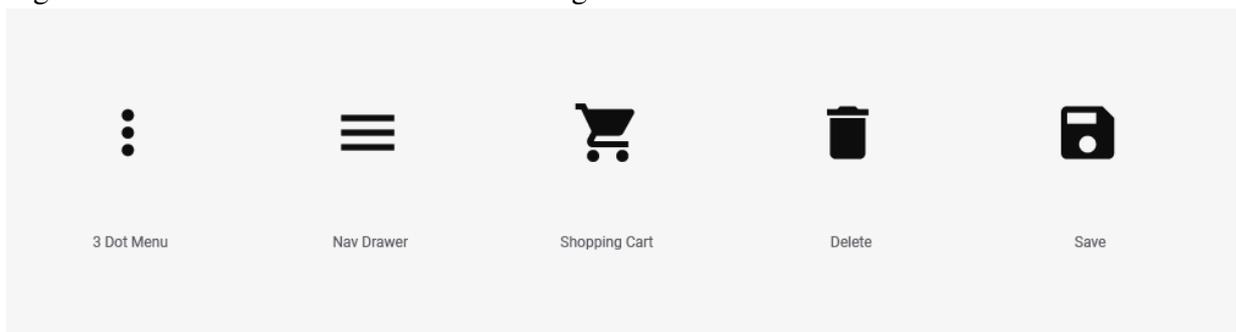
Figura 12 – Adoção do flat design em produtos de grandes marcas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Também não podemos desconsiderar a bagagem cognitiva dos usuários, as interfaces bidimensionais nos ensinaram muita coisa ao longo dos últimos anos, embora a simplicidade do flat design não seja lá muito boa com as *affordances*, muitos signos presentes nas interfaces 2D que a princípio não representam muita coisa, se tornaram bastante difundidos, como, *three dot menu* e *nav drawer*. Alguns inclusive, bem antigos, que começaram com uma proposta mais realista, mas com o passar do tempo se tornaram mais populares e cada vez mais abstratos. Dentre eles temos o carrinho de compras, lixeira, disquete, dentre outros que ainda hoje são facilmente encontrados em muitos sistemas. Nossa ideia foi aproveitar esse processo de abstração que ocorreu ao longo dos anos nas interfaces 2D e aplicar em componentes de interface 3D, fazendo uso de elementos semelhantes com o intuito de obter as mesmas vantagens.

Figura 13 – Ícones comuns em interfaces digitais modernas



Fonte: Elaborado pelo autor.

De fato, parece estranho falar em “flat” em um contexto onde a principal novidade é a presença de uma terceira dimensão capaz de dar a percepção de volume e profundidade com mais eficiência do que interfaces 2D. Contudo, entendemos que a essência do flat design não está exatamente em ser plano e sim em abstrair detalhes desnecessários fundamentado no conceito do minimalismo. Analisando a aplicação do minimalismo, mais especificamente no contexto das tradicionais interfaces 2D, nos deparamos com uma das heurísticas de usabilidade de Jakob Nielsen que se traduz em, estética e design minimalista, uma vez que todos os elementos na interface concorrem entre si pela atenção do usuário, detalhes desnecessários só geram ruídos na comunicação dos signos, logo o que puder ser abstraído deve ser. (BARBOSA; SILVA, 2010) Acreditamos que o mesmo princípio pode ser aplicado a interfaces em ambientes tridimensionais.

Embora o estudo de usabilidade para as interfaces tradicionais já tenha certa maturidade, no que diz respeito a usabilidade de interfaces 3D, estamos ainda engatinhando. Contudo já temos consciência da importância de pensar e pesquisar sobre o assunto, o que passa a requerer ainda mais atenção quando adicionamos um grau de complexidade tentando emular a presença de uma terceira dimensão. A interface do usuário é um componente crítico de qualquer aplicação de ambiente virtual, mas levando vantagem de ambas interações 2D e 3D, nós podemos criar interfaces para ambientes 3D que são fáceis de usar e mais intuitivas. (KANG, 2017) Isso se dá pelo fato de que o nível de abstração encontrado nas tradicionais interfaces 2D existe para proporcionar conveniência aos usuários as tornando mais adequadas para tarefas lógicas e analíticas. (BOWMAN *et al.*, 2001). É muito mais conveniente clicar em um link para mudar de uma seção de produtos para outra do que ter de percorrer tudo o caminho dentro de um ambiente até chegar a seção desejada, seja numa loja física ou virtual.

Durante muitos anos, a navegação tradicional na web foi baseada exclusivamente no conceito de páginas, onde o usuário navega do ponto A (página atual) para o ponto B (página desejada) por meio de links com um único input, no caso um evento de click, embora seja um mecanismo simplório, o mesmo tem se mostrado ao longo dos anos uma solução prática e bastante eficiente. Kang (2017) tem apontado em seu trabalho que os principais problemas existentes nas lojas RV skeumórficas estão relacionados à navegação. O que é plausível, uma vez que para desfrutar de uma experiência natural com seis graus de liberdade as quais denominamos de plataformas *Six degrees of freedom* (6DoF), onde o indivíduo pode se deslocar fisicamente no mundo real e essa ação é refletida no mundo virtual, é necessário o uso de um aparato tecnológico especializado e de custo não acessível para grande parte dos usuários.

Esse cenário ideal está longe dos dispositivos de baixo custo, que acabam oferecendo uma experiência limitada a teclado e mouse, *joystick* ou mesmo a mecanismos de software desenvolvidos para suprir a falta de dispositivos de interação mais sofisticados, como é o caso do *gaze and click*. O funcionamento desse mecanismo é bastante simples. Por meio do ponteiro fixo no centro do campo de visão do *headset* o usuário pode apontar para o lugar onde deseja ir e ao clicar a sua posição é ajustada para a nova localização o deslocamento as vezes é instantâneo algo como um teletransporte ou pode ocorrer por meio de uma animação simulando uma trajetória de caminhada. Devido a capacidade de funcionamento com um único *input* para confirmar a localização desejada, essa técnica tem se tornado quase um padrão para o problema de translação no espaço virtual, no contexto dos dispositivos de RV de baixo custo.

Embora alguns desses mecanismos sejam bastante utilizados, essas são soluções razoáveis para se locomover durante um curto período de tempo, mas bastante limitadas e com certeza pouco encorajam os usuários a andar pela loja e explorar. Como solução para esse problema Kang (2017) propõe uma interface híbrida, pois supõe que a integração entre interfaces 2D e 3D, onde a navegação seria principalmente 2D e os produtos seriam mostrados em tamanho real em um espaço 3D, traria mais satisfação aos usuários. No fundo não se trata de ser 2D ou 3D, e sim da abstração encontrada nos elementos da interface. A navegação oferecida pelas interfaces de *e-commerces* bidimensionais, frequentemente é baseadas em menus com uma hierarquia de categorias e subcategorias, esse agrupamento ou mesmo a presença de uma barra de busca, proporcionam muito mais conveniência, praticidade e eficiência aos usuários. Segundo Kang (2017) “não há a necessidade de ter itens de lojas em prateleiras desde que em RV não existem as mesmas restrições presentes no mundo real.” Logo, também não existe razão para obrigar o consumidor a se deslocar pela loja na tentativa de encontrar o produto desejado.

A realidade virtual traz a capacidade de fazer algo aparecer ou desaparecer instantaneamente, de ter um elemento flutuando no espaço, ou mesmo de permitir que um consumidor interaja com um produto de forma que não lhe seria possível no mundo real, como suspender um fogão acima da altura de sua cabeça ou simplesmente rotacioná-lo livremente para olhar todos os lados, aumentando a capacidade de compreensão do produto percebido. Indo um pouco além do produto vale pensar que impactos isso poderia ter numa campanha de marketing e publicidade de uma loja de móveis onde o usuário pode visualizar o produto no ambiente antes mesmo de comprar? Embora essa dinâmica seja mais viável quando pensamos em um modelo de loja em realidade aumentada (RA), tais lojas também podem ser beneficiadas pelo modelo de navegação

proposto em nosso trabalho. E como seria a experiência numa loja de produtos para o público *gamer* onde as informações e especificações do produto sejam anunciadas por um personagem em 3D e tamanho real que protagoniza uma importante franquia de jogos eletrônicos.

Embora não seja possível prever a influência que isso teria sobre o desejo de compra do consumidor, sabemos que nem sempre compras são realizadas de modo racional. A publicidade muitas vezes atua sobre o nosso inconsciente, despertando interesse, formando opinião e nos levando a compras impulsivas e em grande parte emocionais. Logo, é razoável presumir que isso pode em alguma medida pesar sobre a decisão final do consumidor. O ponto é que as características discutidas acima, se bem aproveitadas, têm potencial para tornar a experiência do usuário superior a que dispomos na loja física, tornando-a mais eficiente, fácil e conseqüentemente mais satisfatória. Para isso, é necessário abstrair e criar metáforas baseadas em aspectos do mundo real, mas não limitadas a ele, aproveitando melhor as vantagens da natureza virtual desses ambientes. Agora em ambientes tridimensionais assim como já fazíamos anteriormente em aplicações com interfaces 2D.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Apesar dos estudos no campo da realidade virtual serem de longa data, essa ainda pode ser considerada uma área emergente, pois a sua popularização é ainda recente, algo em torno dos últimos oito ou nove anos. Após a aparição do "Oculus Rift" em 2014, uma crescente onda de dispositivos de realidade virtual tomou o mercado, impulsionando a novidade, que passou a atrair o interesse de cientistas, empresas e entusiastas. No entanto, ainda são poucos os estudos direcionados a aplicação de RV para o comércio eletrônico. (ZENG; RICHARDSON, 2016). Em nossas pesquisas, não encontramos trabalhos que se proponham a desenvolver um produto exatamente na direção do que temos planejado, especialmente voltado para plataforma web. Diante das circunstâncias buscamos apresentar alguns dos estudos encontrados que tiveram efetiva contribuição para nossa pesquisa e que mais se aproximaram de nossa proposta.

3.1 New directions for the design of virtual reality interfaces to e-commerce sites

Chittaro e Ranon (2002) discutem brevemente sobre as potenciais vantagens de trabalhar com realidade virtual em sites de comércio eletrônico e ressaltam a necessidade de buscar uma abordagem de design mais apropriada para essas interfaces e por fim, apresentam as direções que sua pesquisa tem seguido na tentativa de construir lojas de realidade virtual mais eficientes e com melhor usabilidade. Sua abordagem consiste essencialmente em imitar e expandir a experiência encontrada em lojas no mundo real, baseado em três principais pontos. 1, reformular diretrizes de design de lojas no mundo real para o contexto de RV. 2, A capacidade da RV de criar “superpoderes” que atenda as expectativas de ambos, consumidor e comerciante. 3, Personalizar a loja RV para melhor refletir o gosto, preferências e interesses do cliente. (CHITTARO; RANON, 2002).

Para o primeiro ponto proposto, no caso a aquisição das diretrizes, o autor optou por coletar essas informações de duas formas, a primeira seria através de literatura especializada e a segunda por meio de entrevista com *experts* no assunto. Chittaro e Ranon (2002), relata a existência de dois principais tipos de consumidor, os que têm um estilo de compra mais racional, que optam pela conveniência e praticidade preferindo comprar em lojas online e outro com um estilo de compra mais emocional, que estão mais preocupados com o engajamento e com a experiência no ambiente da loja, preferindo assim as lojas físicas. Nosso trabalho busca unir no mesmo lugar, as características responsáveis por motivar a escolha de compra em um dos

dois tipos de loja, aumentando assim as chances de aceitação por parte de ambos os perfis de consumidor. Para isso nosso modelo de navegação irá se basear parcialmente nos pontos 1 e 2, sendo respectivamente, reformular diretrizes de lojas físicas e criar "superpoderes" no mundo virtual, acreditamos que estes melhor sintetizam os interesses de ambos, cliente e comerciante.

3.2 Using immersive virtual reality to create presence in online shopping

Com foco na experiência vivenciada pelo usuário, o trabalho de Zeng e Richardson (2016) aborda aspectos relacionados principalmente a imersão e ao potencial da realidade virtual de proporcionar o senso de presença, ou, sensação de não mediação, dando assim a ilusão de estar realmente no ambiente virtual apresentado. Em seu trabalho, a autora defende a ideia de que as ligações entre o ambiente virtual e experiências vivenciadas anteriormente no mundo real, resgatam memórias que tornam a experiência do cliente mais engajada e divertida, aumentando seu interesse pelo ambiente virtual e influenciando positivamente o seu comportamento de compra. O trabalho é um estudo exploratório no contexto de *Mobile Based VR* baseado em duas principais questões, “investigar quais as características da realidade virtual imersiva são responsáveis por digitalmente simular presença, e como a sensação de presença pode afetar o comportamento de compra online dos consumidores.”

Como parte da metodologia usada para responder tais questões, foram realizadas entrevistas com roteiros semi-estruturados com participantes que utilizaram alguma das aplicação de lojas de realidade virtual existentes no período do estudo. De acordo com Zeng e Richardson (2016), a apresentação dos produtos é muito mais do que comunicar suas informações, é também despertar o interesse e curiosidade do consumidor além de fixar em sua memória, características e valores da marca em questão. Para isso, seu trabalho encoraja a construção de lojas RV baseadas no conceito de Skeumorfismo, criando metáforas para o ambiente virtual que reproduzam com fidelidade o que vemos no mundo real, aumentando a familiaridade do usuário com o sistema, e tornando sua experiência idealmente imersiva. Seguindo essa linha, rapidamente nos deparamos com um problema, pois o sistema de navegação usado na maiorias em lojas físicas atualmente é baseado na possibilidade de locomoção do usuário, o mesmo se desloca livremente pelos corredores da loja guiado por um vendedor ou algum tipo de sinalização, até encontrar o produto desejado. Contudo o deslocamento natural no espaço virtual é um dos maiores desafios para RV, porque na maioria dos casos o espaço real não corresponde ao espaço apresentado no mundo virtual, isso pode provocar entre outras coisas o risco de acidentes com o usuário.

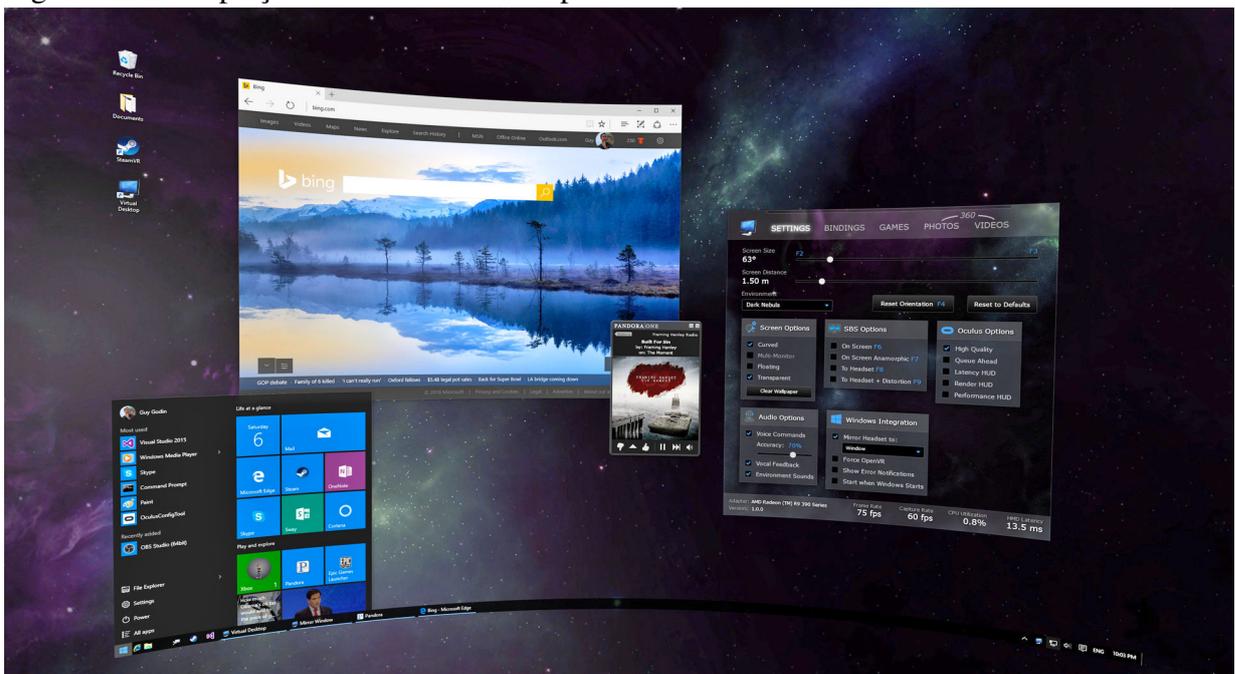
Considerando que temos como público alvo os usuários de *headsets* de baixo custo dentro do contexto de *Mobile Based VR*, as limitações existentes nestes dispositivos, uma vez que a maioria são 3DoF e não acompanham periféricos avançados para interação ou navegação, tornam ainda mais difícil reproduzir o livre deslocamento do usuário nesses ambientes, podendo ser não apenas um desafio, mas um inconveniente em alguns aspectos, comprometendo a usabilidade e experiência do usuário. Nosso trabalho baseia-se parcialmente nas diretrizes apontadas por Zeng e Richardson (2017), no entanto ao invés de uma abordagem completamente skeumórfica, optamos por uma abordagem híbrida, concentrando nossos esforços em proporcionar o máximo de imersão possível na experiência do cliente com o produto, mas mantendo mecanismos que facilitem um filtro inicial, permitindo que o cliente encontre o produto que deseja com mais facilidade, sem necessariamente ter de percorrer a loja como fazemos no mundo real.

3.3 Designing next generation marketplace: the effect of 3D VR store interface design on shopping behavior

Enquanto muitos trabalhos têm adotado modelos baseados no conceito de skeumorfismo, Kang (2017) traz uma abordagem um pouco diferente, ele propõe uma comparação através de um estudo empírico, dos três diferentes tipos de interfaces de usuário, uma interface 2D, uma interface 3D skeumórfica e uma interface híbrida que combina características de ambas, tanto 2D como 3D. Seu trabalho faz um levantamento das principais características que são requeridas em ambientes de lojas RV e o impacto de cada uma delas no comportamento de compra do usuário, na tentativa de descobrir quais os aspectos da realidade virtual são realmente atrativos para o comércio eletrônico. Ele aponta em seu trabalho que os principais problemas das interfaces projetadas para as atuais lojas RV estão relacionados à navegação, principalmente as que optam pelo modelo skeumórfico e sugere o uso das convencionais interfaces 2D, com barra de busca e hierarquias de menus, como sendo a solução mais apropriada para resolver esses problemas. A proposta do autor de construir uma interface híbrida é a princípio uma boa solução, uma vez que reduz a complexidade trazida pelo skeumorfismo durante etapas como a busca do produto e concentra os esforços em proporcionar uma experiência realista no momento onde ela é mais importante, no contato com o produto. No entanto a interação com esses elementos de interface ainda é um problema, tendo em vista que as formas de interação com as quais estamos acostumados nem sempre estão disponíveis.

Tomando como exemplo o teclado compreendemos melhor essa dificuldade, uma vez que não é possível usar o teclado virtual da maneira como normalmente fazemos enquanto o mesmo está preso a cabeça do usuário, acoplado ao *headset VR*, logo se faz necessário buscar suporte em outros mecanismos de interação como por exemplo comandos de voz. Em nosso trabalho optamos por seguir um caminho similar ao de Kang (2017), apostando em um modelo híbrido com elementos 2D e 3D, mantendo a praticidade e eficiência dos mecanismos de navegação de interfaces bidimensionais. Contudo vale destacar que buscamos boas soluções de design para apresentar esses elementos de forma mais atrativa, pois o uso de interface completamente 2D, dentro de um ambiente de natureza tridimensional, pode ter um aspecto visualmente desinteressante, reduzindo a qualidade da experiência do usuário como apresentado abaixo, na figura 14.

Figura 14 – Adaptação do ambiente desktop 2D em um ambiente de realidade virtual 3D



Fonte: DECORATIONS (2017).

4 METODOLOGIA

4.1 Levantamento Bibliográfico

Durante esse estágio, foi realizado um levantamento bibliográfico a fim de identificar os principais conceitos relacionados interfaces 3D para RV, bem como mecanismos e técnicas utilizadas para interagir nesses ambientes.

4.2 Projeto

No início dessa etapa, foi realizado um levantamento, através de produtos similares, das principais técnicas de navegação utilizadas em *Mobile Based VR*, independente do contexto a fim de descobrir qual delas mais se adéqua ao nosso experimento, bem como que vantagens e desvantagens cada uma delas apresenta. Na sequência, identificamos os mecanismos mais usados para navegação em sites de comércio eletrônico tradicionais (2D), e como poderiam ser adaptados e otimizados quando aplicados no contexto de lojas de realidade virtual (3D). Nossa intenção é projetar com base em princípios de usabilidade um modelo de navegação híbrido, que seja o produto desses dois universos, elementos 2D e 3D em um ambiente virtual tridimensional.

4.3 Prototipagem

Durante essa etapa, os esforços foram concentrados em construir um protótipo capaz de materializar o modelo proposto, as soluções mais maduras foram transformadas em componentes e agrupadas em uma biblioteca que futuramente será publicada no *Node Package Manager (NPM)* para facilitar o reuso na comunidade A-Frame. A tecnologia utilizada para a construção do protótipo foi o Svelte, um moderno *framework javascript* reativo, em conjunto com o A-Frame, um *framework* para criação de ambientes RV na Web, com uma estrutura *HyperText Markup Language (HTML) like*. O mesmo implementa a *API WebVR*, construída sob as especificações oficiais do *World Wide Web Consortium (W3C)*, e tem suporte nos principais *browsers* da atualidade, incluindo Mozilla Firefox, Google Chrome e Microsoft Edge.

4.4 Avaliação dos Resultados

Por fim, o protótipo desenvolvido foi submetido a uma avaliação, mais precisamente um teste de usabilidade conhecido como avaliação de peritos (*expert appraisals*), um método não empírico que consiste na inspeção da interface por um ou mais especialistas em busca de problemas de usabilidade. Esse método é semelhante ao de avaliação heurística (*heuristic evaluation*) mas sem necessariamente se submeter ao rigor do protocolo estabelecido por Jakob Nielsen, como o número de participantes, nível criticidade dos problemas ou mesmo as heurísticas. Embora nos leve a resultados pouco confiáveis, de acordo com Jordan (1998), esse método pode ser realizado pelo próprio pesquisador, sem a necessidade de terceiros, se tornando uma alternativa barata e rápida para identificar problemas nas fases iniciais de um projeto, mas não substitui de modo algum a necessidade de uma avaliação com usuários por meio de um método empírico ou com a participação de outros pesquisadores e especialistas.

Para todos os fins as heurísticas de Nielsen serão tomadas como base para nortear nossa discussão sobre os problemas de usabilidade encontrados na interface. De acordo com Nielsen (1994), a usabilidade pode ser dividida em cinco fatores sendo eles: facilidade de aprendizado (*learnability*), facilidade de recordação (*Memorability*), eficiência (*Efficiency*), segurança no uso (*Safety*) e a satisfação do usuário (*Satisfaction*). Neste trabalho decidimos focar especialmente em dois: facilidade de aprendizado e eficiência, os quais analisamos dentro fluxos descritos abaixo e apresentamos em detalhes na sessão de resultados.

- Inicial
 - Explorar a página inicial
 - Navegar para os detalhes de um produto
 - Filtrar os produtos por uma categoria
- Detalhes
 - Interagir com um produto: rotação e zoom
 - Obter detalhes de um produto
 - Adicionar um produto ao carrinho

5 PROJETO

5.1 Motivações

5.1.1 *Realidade virtual de Baixo Custo*

Grande parte das decisões desse projeto foram motivadas pelas limitações encontradas nos dispositivos de baixo custo, como é caso da maioria dos *HMDs* projetados para a tecnologia *Mobile Based VR* (Realidade Virtual Baseada em Dispositivos Móveis). Os dispositivos que oferecem uma experiência mais completa, como o HTC Vive, são vendidos em kits acompanhados de diversos controles e acessórios que facilitam a interação no ambiente virtual, porém esses dispositivos costumam ter um custo elevado considerando o poder de compra médio da população brasileira, tornando-se restrito a uma pequena parcela de usuários.

Por outro lado, os *smartphones* já fazem parte do cotidiano de boa parte das famílias no Brasil, dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) apontam que 99,5% dos brasileiros tem acesso a pelo menos um smartphone regularmente e que esse já é o principal meio de acesso a internet no país PNAD (2019). Embora proporcione uma experiência limitada, apenas com um smartphone e o auxílio de um *HMD* semelhante ao Google Cardboard, um usuário já é capaz de experimentar a imersão em um ambiente virtual com base em um dos pilares da RV moderna que é o *head tracking*, isso já garante uma experiência com 3 graus de liberdade, desde que disponha de sensores como acelerômetro, giroscópio e uma resolução de tela em alta definição.

5.1.2 *Mobile Based VR como Porta de Entrada*

Tendo em mente a lista relativamente simples de requisitos, visto que podem ser comumente encontrados na maioria dos *smartphones* da atualidade, a *Mobile Based VR* se torna a porta de entrada para maioria dos usuários no universo da realidade virtual e portanto, provavelmente o segmento mais promissor para fomentar uma experiência de comércio eletrônico em RV, sobretudo no varejo que busca manter o alcance tão abrangente quanto possível a fim de obter uma maior fatia de mercado. Por essa razão, decidimos concentrar nossos esforços em encarar as limitações e projetar a melhor experiência possível para o pior cenário esperado, executando direto no navegador web no *smartphone*, tendo apenas um *HMD cardboard-like* e um único botão para interação, às vezes nem isso.

5.2 Limitações e Desafios

Como mencionado anteriormente, a maioria dos *HMDs Slide On*, disponíveis no contexto de *Mobile Based VR*, são capazes de oferecer uma experiência com 3 graus de liberdade ou *Three degrees of freedom (3DoF)*, sendo esses 3 graus baseados na rotação em torno dos eixos X, Y e Z. Isso significa que o usuário pode mover a cabeça e olhar em diferentes direções, enquanto sensores no smartphone capturam o posicionamento do dispositivo e a imagem no *display* é atualizada em tempo real para exibir o recorte correspondente no ambiente virtual. Essa técnica que conhecemos como *head tracking*, é responsável por entregar uma experiência natural e imersiva além de garantir parte importante do que entendemos como sensação de presença.

5.2.1 O Desafio da Translação

Embora a experiência de rotação e observação do espaço aconteça de maneira natural e fluida, o mesmo não pode ser dito no que tange a experiência de translação e deslocamento, que se apresenta como um dos principais desafios, não apenas para o segmento RV de baixo custo, mas para a realidade virtual de modo geral. Isso ocorre, em parte, devido ao fato de que a RV por vezes nos insere em um ambiente virtual completamente novo e muito diferente do nosso ambiente real. Ao contrário do que acontece na Realidade Aumentada (RA), onde a projeção de uma realidade virtual é combinada a nossa realidade física por meio de câmeras, na RV o ambiente real é inteiramente substituído e não permanece visível ao usuário, o que implica no risco de acidentes uma vez que obstáculos presentes no entorno podem não ser identificados pelo usuário durante sua sessão.

Além da dificuldade em fazer corresponder os ambientes real e virtual, outro ponto importante a ser considerado é que ainda não é possível permitir o livre deslocamento no ambiente virtual de forma eficiente sem o uso de equipamentos auxiliares. Apesar de entregar uma experiência significativamente mais imersiva, agora com 6 graus de liberdade ou *Six degrees of freedom (6DoF)*, sendo 3 de rotação e 3 de translação, essa tarefa requer o uso de sensores espalhados no ambiente ou fixados ao usuário, entre outros equipamentos (discutidos em mais detalhes na seção 2.1.4), que no geral encarecem a experiência dificultando o acesso de novos usuários, algo que buscamos evitar.

Algumas das estratégias alternativas mais baratas para possibilitar o deslocamento no espaço envolvem o uso de periféricos mais comuns como *joysticks*, teclado ou controles

virtuais projetados em tela, contudo essa não é uma experiência tão natural quanto se deslocar simplesmente caminhando. E à medida que se faz necessário, em alguns casos, o uso de equipamentos além do suporte *HMD* e do smartphone, isso acaba impondo barreiras de entrada, ainda que menores, e mais uma vez dificultando o acesso em alguma medida.

Diante desse cenário optamos por projetar a navegação de modo que o usuário não necessite se deslocar no espaço. Embora a incapacidade de se movimentar livremente no ambiente virtual geralmente implique numa experiência menos imersiva, acreditamos que essa limitação não compromete a experiência geral, uma vez que nosso objetivo maior não está fundamentado em maximizar o senso de presença, e sim em aumentar a capacidade de percepção do produto por parte do usuário. Em um primeiro momento, entendemos que essa seja a contribuição mais relevante da Realidade Virtual para o comércio eletrônico.

5.2.2 Sistema de Navegação

Na maioria das aplicações web tradicionais, é comum nos referirmos às diferentes partes que compõem um site como sendo páginas. Essa metáfora fazendo referência a um documento, ou mais precisamente, uma coleção de documentos, se baseia em grande medida no fato de que nos primórdios da internet a web era basicamente isso, uma grande coleção de documentos interligados numa rede mundial. Contudo, um segundo fator está relacionado ao formato em que esse conteúdo costuma ser apresentado, que por sua vez está restrito às limitações da mídia que o comporta.

Embora não sejam muitas as semelhanças entre uma moderna tela digital e uma simples folha de papel, a natureza bidimensional de ambas é o fator responsável pela semelhança na disposição dos elementos. Seja definida em *pixels* ou em qualquer outra unidade de medida, tanto as telas como os papéis estão limitados a exibir um recorte da realidade baseado em largura e altura, dimensões popularmente representadas no modelo matemático por x e y . Nesse aspecto, o principal diferencial da realidade virtual é a presença de uma terceira dimensão z .

Apesar da RV também fazer uso das convencionais telas em 2D, como é o caso da tela de um smartphone, ela o faz de modo que uma terceira dimensão possa ser simulada de maneira mais convincente do que em outras aplicações. O usuário que antes observava o mundo virtual como um espectador através de uma janela agora se sente imerso no ambiente podendo, observá-lo em todas as direções em torno do próprio eixo, logo, nesse novo ambiente, agora 3D, não faz sentido pensar em páginas e decidimos nos referir a essas partes do todo como espaços.

Optamos por manter a navegação nesse ambiente virtual semelhante a ideia dos *hyperlinks* que conectam as tradicionais páginas web, onde o usuário interage com um elemento, seja ele um botão, texto, imagem e algumas vezes abstrato. Esse elemento funciona como um gatilho que o levará ou tratá o novo documento, a depender do ponto de vista. Essa escolha foi baseada no fato de esse ser um mecanismo simples e amplamente difundido, uma vez que não é possível transitar livremente no ambiente 3D, isso provavelmente nos permite aproveitar a bagagem cognitiva dos usuários para navegar de forma eficiente entre os espaços.

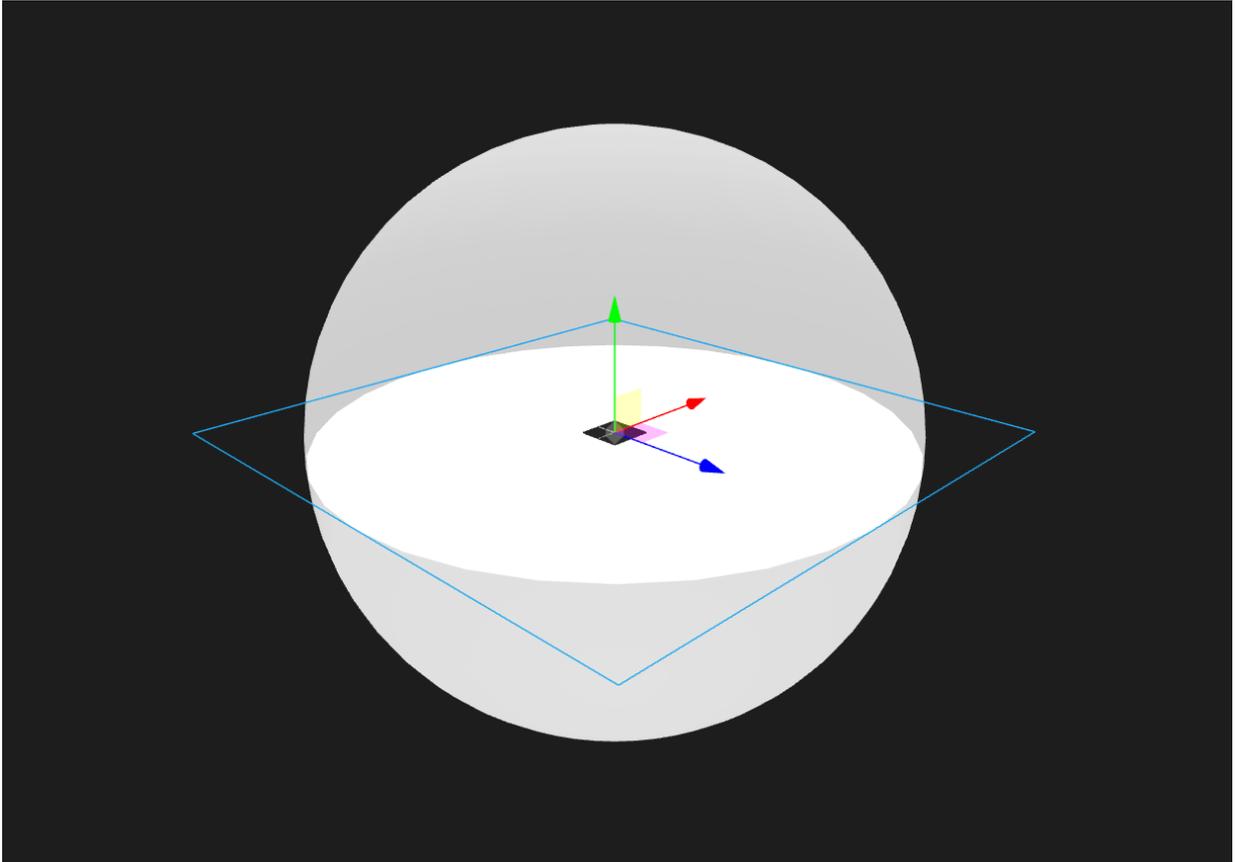
5.3 Decisões de Design

5.3.1 Composição da Cena

A estrutura básica do ambiente virtual é composta por uma esfera dividida por um plano transversal na altura da linha equatorial, criando uma espécie de domo onde o usuário será imerso. O usuário, que no caso é representado pela câmera da cena, será posicionado ao centro do plano que representa o chão, na coordenada (0, 0) a uma altura de 1,6m de onde irá interagir com os elementos da cena. O usuário será capaz de olhar em qualquer direção inclusive rotacionar 360° em torno de si próprio, mas ancorado sempre a posição 0 0 global desse ambiente. Os elementos serão dispostos de forma circular e equidistante ao redor do usuário e podem aparecer, desaparecer ou ser reposicionados à medida que o usuário interage com eles ou transita entre os diferentes espaços.

Durante o desenvolvimento do protótipo decidimos nos esforçar para evitar o uso de recursos externos como texturas e modelos 3D na construção da interface e elemento de interação, nos restringindo ao uso de geometrias e materiais disponíveis no próprio *framework* (A-Frame), exceto no que diz respeito aos produtos. Acreditamos que essa decisão seja importante para manter a experiência de desenvolvimento semelhante a que já temos nas páginas web de lojas online tradicionais e contribui para alcançar um bom desempenho do sistema mesmo em dispositivos menos potentes, uma vez que a estrutura geral seja simples o maior custo computacional será empregado apenas na renderização dos produtos.

Figura 15 – Estrutura base da cena principal



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3.2 *Estética Minimalista*

Ainda na mesma proposta de manter a experiência simples optamos por aplicar uma linguagem visual minimalista, baseada no minimalismo do início da década de 60 que faz uso de poucos elementos, formas simples, cores neutras e valoriza os espaços vazios. A intenção é criar uma estética limpa, funcional e desprovida de ornamentações desnecessárias. Acreditamos que essa linguagem ajuda a manter o foco na clareza, na organização e na eficiência da interface, buscando transmitir a mensagem de forma direta e objetiva aos usuários. Devido a importância fundamental desses fatores na tentativa de garantir boa usabilidade, essa têm sido a principal influência no design de *User Interface (UI)* 2D ao longo dos últimos anos, e acreditamos que seus princípios também possam ser um norte para construção de interfaces em alguns domínios de aplicação na RV.

O web site da loja Muma foi adotado como referência para nos guiar durante a construção desse protótipo. Com uma abordagem minimalista e tomando emprestado alguns conceitos do Material Design que se adequam muito bem em nosso contexto tridimensional, a expectativa de adaptar a identidade visual da loja estendendo a experiência sempre que possível,

para funcionar em um ambiente com três dimensões. A escolha da loja se deu em grande parte por essa apresentar uma identidade visual clara e bem característica o que proporciona insumo para nossa experimentação, bem como uma navegação simples contendo basicamente o fluxo padrão da maioria dos sites de comércio eletrônico. Além do que a atuação da Muma focada no varejo de móveis e artefatos de decoração nos ajuda a restringir o escopo do projeto e limitar o conjunto de problemas a serem resolvidos.

6 DESENVOLVIMENTO

6.1 Tecnologias

A escolha das tecnologias para o desenvolvimento desse projeto certamente não foi o que podemos chamar de “caminho de mais curto”, a web não é exatamente a plataforma mais convidativa quando o assunto é renderização gráfica 3D. A maioria das aplicações projetadas para realidade virtual são construídas sobre *engines* voltadas para o mercado de jogos digitais como, Unity, Unreal, ou plataformas semelhantes. Uma vez que muitas das necessidades da RV são também requisitos compartilhados por ambientes de jogos digitais, o arcabouço que essas plataformas oferecem se torna a decisão mais segura.

Entretanto, quando olhamos para o cenário do comércio eletrônico, apesar do considerável aumento de compras online realizadas por meio de aplicativos em dispositivos móveis, representando especificamente 29% das vendas no ano de 2019 segundo dados do estudo realizado pela GSMA (2019), a maior parte dos varejistas, cerca de 2/3, ainda mantém a web como principal plataforma de vendas. A não necessidade de qualquer instalação ou configuração prévia para acessar aplicações web acaba por favorecer a adoção de novos usuários, e a possibilidade de entregar uma experiência de realidade virtual com a mesma facilidade, embora seja particularmente satisfatória, traz consigo diversos desafios que discutiremos em detalhes nas seções seguinte, bem como as soluções aplicadas em cada caso.

6.1.1 Primeiros Passos

Aproveitando o *hype* do React a ideia inicial era trabalhar com o React-360, um *framework* também desenvolvido pelo time do Facebook para construir aplicações de realidade virtual para a web, essa solução nos permitia fazer uso de boa parte dos conceitos já conhecidos do React Js e de um fluxo de desenvolvimento reativo. Infelizmente o projeto não andou muito e acabou sendo descontinuado quando o repositório oficial no Github foi arquivado em 15 de dezembro de 2020. Felizmente o React-360 foi construído em cima de outra ferramenta com um propósito semelhante e que continuou sendo mantida pela comunidade, o A-Frame.

Antes de entrarmos em mais detalhes sobre o A-Frame abordaremos brevemente duas das principais tecnologias que estão embaixo do capô dessa ferramenta. Todo o ambiente virtual, incluindo a cena, os objetos 3D, a iluminação e os demais recursos necessários para a construção do espaço tridimensional é gerenciado pela biblioteca Three.js. Usando a *API*

WebGL embarcada no canvas da HTML5 como motor de renderização, essa poderosa biblioteca Javascript abstrai e simplifica o processo de exibição de gráficos 3D em um navegador web. Enquanto todo o suporte para a integração com os variados dispositivos de realidade virtual é proporcionado pela especificação da *API* WebVR, atualmente denominada como WebXR para abranger o conjunto das realidades virtual, aumentada e mista.

6.1.2 A-Frame

O A-Frame por sua vez, é um *framework* web também desenvolvido para a construção de experiências de realidade virtual, contudo o conjunto de soluções que ele oferece é um pouco mais basilar, operando em mais baixo nível. Com uma arquitetura Entity Component System (ECS) e uma sintaxe *HTML Like* os primeiros passos são muito semelhantes à criação de qualquer outra aplicação web. A estrutura básica é composta por um arquivo com extensão .html geralmente chamado de *index* que inclui as *tags head, body*, o *script* do *cdn* oficial e uma *tag scene* responsável pela criação do *canvas* e renderização do ambiente 3D.

Elementos comuns podem ser adicionados à cena por meio de primitivas, que funcionam como *tags html* encapsulando toda a lógica de componentes e expondo os parâmetros por meio de atributos. Os componentes são objetos Javascript que possuem um *schema* definindo os parâmetros de entrada, e um conjunto de métodos para gerenciar o ciclo de vida e adicionar comportamentos aos elementos. Componentes podem ser anexados a qualquer primitiva estendendo a lógica padrão ou podem ser combinados com uma primitiva genérica chamada *entity*, compondo elementos complexos completamente novos. Essa primitiva especial é a base da qual todas as outras herdam e seria o equivalente a uma *div* no html.

Na figura 16 as *tags*: *a-box*, *a-sphere*, *a-cylinder*, *a-plane* são primitivas nativas do A-Frame que adicionam elementos com geometrias básicas à cena. Os atributo recebem valores que são passados como parâmetros aos componentes para definir comportamentos, como: *position*, *rotation* e *color*. A *tag a-sky* é uma primitiva especial responsável por definir uma textura de ambiente renderizada no interior de uma esfera, criando os limites do que o usuário vê em seu entorno. A primitiva *a-scene* é o nó raiz do A-Frame, o sistema responsável por criar a cena onde todo o ambiente virtual é construído. Ela define diversas variáveis globais e é possível trabalhar com múltiplas cenas, mas apenas uma por vez será renderizada. As demais *tags* fazem parte da estrutura base de um arquivo html. A figura 17 apresenta como resultado a cena renderizada pelo código fonte da figura 16.

Figura 16 – Boilerplate de introdução do A-Frame

```

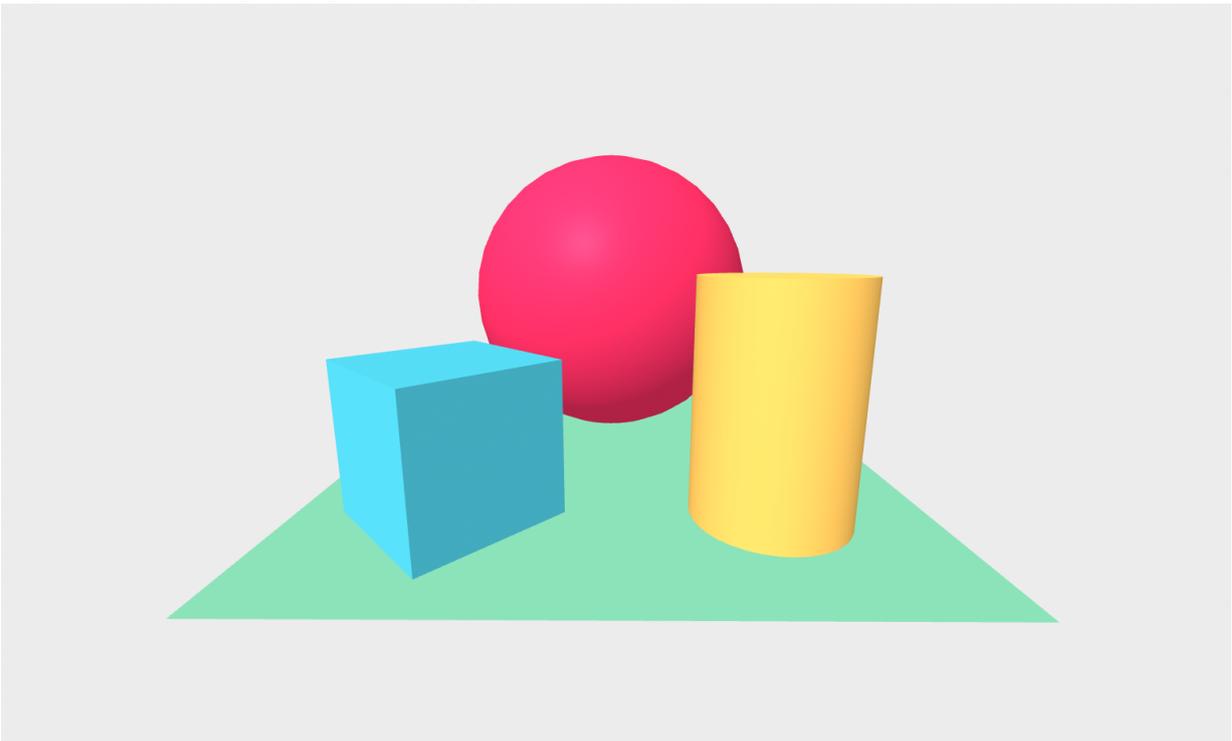
1  <!DOCTYPE html>
2  <html>
3    <head>
4      <script src="https://aframe.io/releases/1.4.0/aframe.min.js"></script>
5    </head>
6    <body>
7      <a-scene>
8        <a-box position="-1 0.5 -3" rotation="0 45 0" color="#4CC3D9"></a-box>
9        <a-sphere position="0 1.25 -5" radius="1.25" color="#EF2D5E"></a-sphere>
10       <a-cylinder position="1 0.75 -3" radius="0.5" height="1.5" color="#FFC65D"></a-cylinder>
11       <a-plane position="0 0 -4" rotation="-90 0 0" width="4" height="4" color="#7BC8A4"></a-plane>
12       <a-sky color="#ECECEC"></a-sky>
13     </a-scene>
14   </body>
15 </html>
16

```

Fonte: Elaborado pelo autor.

As similaridades com a estrutura html padrão tornam a curva de aprendizado inicial relativamente simples, sendo perfeitamente viável, em poucos minutos e com um único arquivo, ter uma aplicação completa de realidade virtual executando no navegador, uma espécie de *Hello World* A-Frame. Contudo essa estrutura básica não é adequada para a construção de aplicações de grande porte. À medida que a aplicação escala, também cresce com ela a dificuldade de manutenção, por vezes numa proporção até maior, tornando altamente recomendado o uso de um *framework front-end* para auxiliar no processo de desenvolvimento.

Figura 17 – Cena gerada pelo boilerplate de introdução do A-Frame



Fonte: Elaborado pelo autor.

A atual cena do desenvolvimento *front-end* dispõe de diversos *frameworks* que ajudam a construir a web moderna, dentre eles alguns dos mais famosos são o Angular, o Vue e o já mencionado React. Essas ferramentas oferecem recursos que ajudam a lidar com desafios como o gerenciamento de estado, o roteamento, a renderização eficiente e outras tarefas comuns no desenvolvimento de aplicações *front-end* complexas. No entanto, nenhuma delas foi pensada para trabalhar especificamente em conjunto com o A-Frame, e embora ele seja completamente agnóstico, ainda pode apresentar algum nível de incompatibilidade.

6.1.3 Componentização

O conceito de componentização, que consiste em quebrar a aplicação em pequenas porções de código reutilizáveis contendo *template*, estilo e lógica, está na base da maioria das soluções modernas. Para isso, é comum adotar a api de *Web Components*, que tem em seus pilares tecnologias como Custom Elements, HTML Imports e Shadow DOM, que por sua vez não têm suporte nativo no A-Frame. Outro problema comum é que a maioria desses *frameworks* funcionam de forma reativa, controlando o ciclo renderização com base em alterações no estado, algo que também é gerenciado pelo A-Frame de forma diferente, resultando facilmente em conflitos e possíveis problemas de performance. Um ponto crítico para a RV.

Essas limitações nos obrigaram a dar um passo para trás e assumir uma abordagem mais customizada, utilizando o Webpack como base e bibliotecas avulsas sempre que necessário. De imediato, essa solução nos permitiu estruturar a aplicação de maneira mais organizada, separando módulos em diferentes arquivos, mas não supriu a ausência de recursos básicos disponíveis nos modernos *frameworks* mencionados anteriormente. Recursos como, interpolação de strings, vinculação de variáveis, renderização condicional, ou renderização de listas, se tornaram quase indispensáveis no desenvolvimento *front-end* corrente.

Sem a possibilidade de definir *Web Components* ficamos restritos ao uso de componentes A-Frame, que não nos permite especificar um *template* por padrão, nem possui uma linguagem à parte para definição de estilos. Isolando no componente apenas o código Javascript, temos que escolher entre: manipular diretamente o *Document Object Model (DOM)* injetando *HTML* dinamicamente por meio dos métodos `createElement` e `appendChild` adicionando uma verbosidade indesejada, ou escrever toda a marcação no arquivo *HTML* principal inflando o documento. Em ambos os casos acabamos comprometendo a legibilidade e dificultando a manutenção a médio e longo prazo.

6.1.4 Svelte

Esse cenário de desafios nos motivou a buscar alternativas e felizmente, graças a uma recente atualização do A-Frame, uma delas se mostrou promissora. A versão 1.4 oficial, disponibilizada em dezembro de 2022 traz suporte nativo a api Custom Elements V1, o que nos permitiu trabalhar com o Svelte. Diferente das demais ferramentas discutidas até aqui, o Svelte não se trata de um *framework* ou uma biblioteca, ele se autodenomina um compilador. A principal diferença está na maneira como ele lida com o fluxo de mudanças no estado e renderização.

Preferindo uma abordagem *build-time compilation* o Svelte prioriza a performance, sempre que possível transferindo o trabalho do navegador para a etapa de *build*, onde converte o código nativo para Javascript Vanilla otimizando sobretudo trechos reativos. Tecnicamente esse processo faz dele um transpilador e não exatamente um compilador, mas o ponto que nos interessa é que ele não faz uso de Shadow DOM e nos oferece um conjunto de ferramentas que facilitam o desenvolvimento, organização e manutenção de aplicações maiores, melhorando a produtividade e nos permitindo criar aplicações mais robustas e escaláveis.

6.2 Ambiente 3D

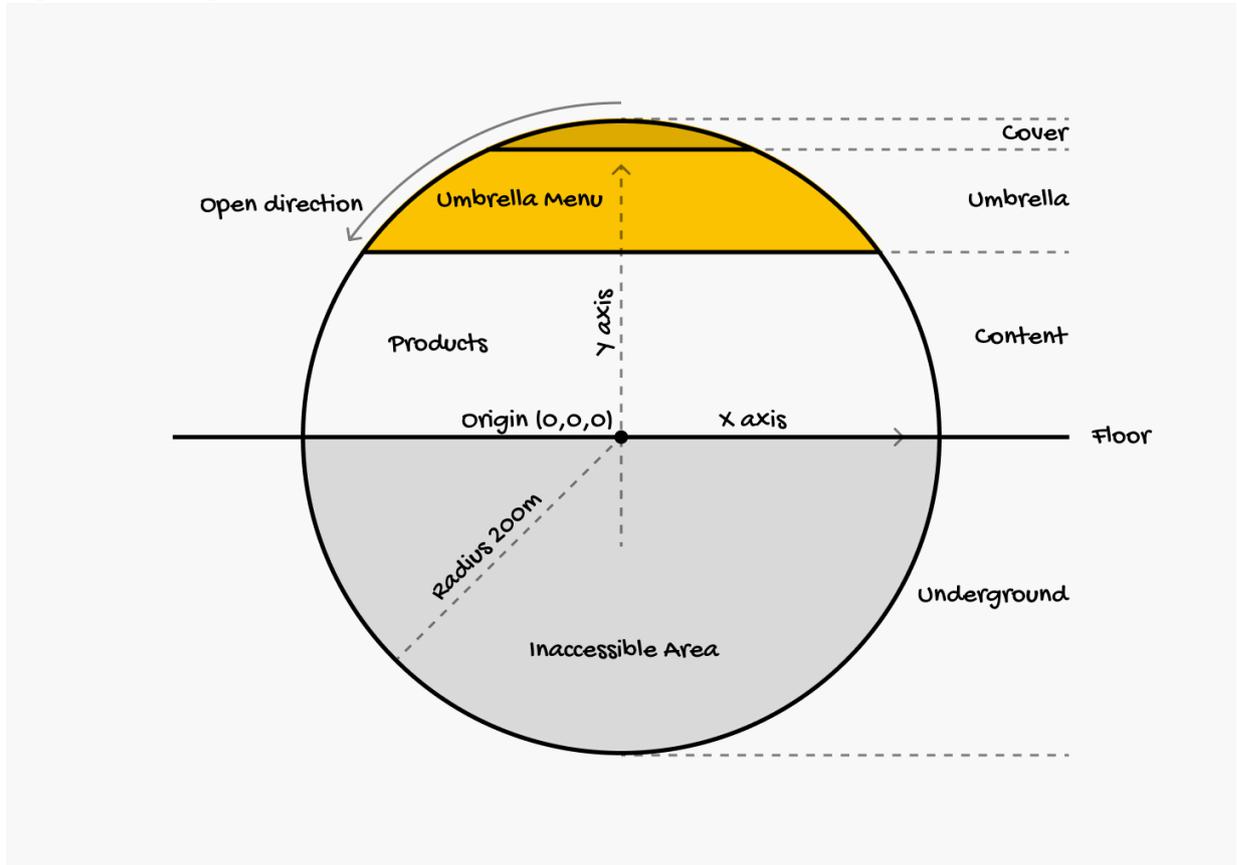
Com o ambiente Svelte devidamente configurado, iniciamos a etapa de desenvolvimento, focando especialmente em quatro páginas: inicial, listagem, detalhes e carrinho. Durante o processo outros desafios como, ausência de documentação, *bugs* no core do A-Frame e inúmeros pacotes quebrados, ou não mantidos acabaram impactando nosso cronograma e nos obrigando a reduzir o escopo do protótipo. Discutiremos a seguir alguns dos principais componentes desenvolvidos e o racional por trás de cada decisão, não necessariamente em ordem cronológica.

6.2.1 Estrutura base

O ambiente inicial conta com iluminação e câmera padrão que serão automaticamente substituídas caso outras luzes ou câmeras sejam adicionadas à cena. Usando o Blender construímos um modelo 3D que serviu como base para gerar uma imagem panorâmica em 360° de projeção equirretangular. Um domo com um chanfro nas arestas da base que rebate a luz criando um efeito de fundo infinito, ideal para a estética minimalista que desejamos. O plano

que representa o chão recebeu apenas uma cor sólida e algumas alterações no material padrão a fim de receber sombras mas não refletir muito a iluminação ambiente. Isso configura o que seria o provavelmente o *background* em uma página web.

Figura 18 – Esquema da estrutura de cena base



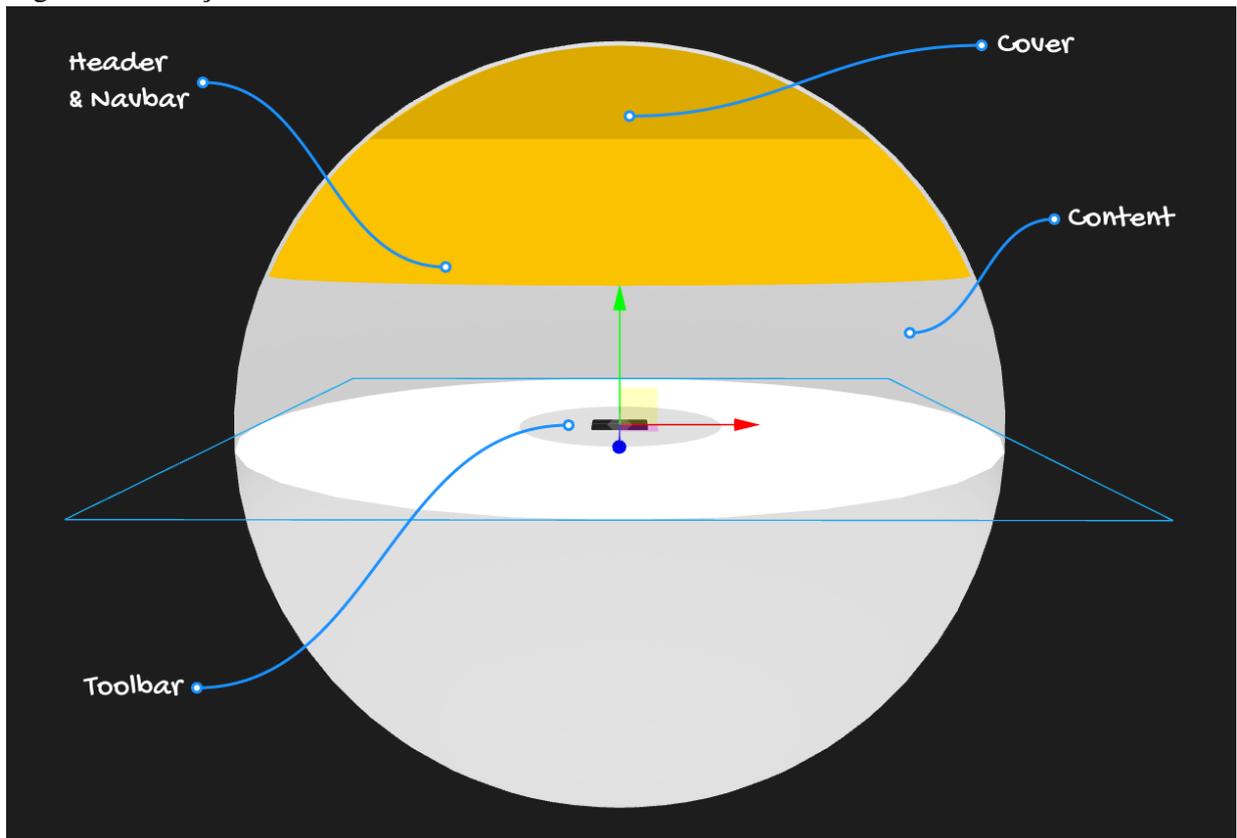
Fonte: Elaborado pelo autor.

6.2.2 Seções

É comum que o layout de páginas web tradicionais seja dividido de forma macro em quatro principais seções: cabeçalho (*header*), barra de navegação (*navigation*), área de conteúdo (*content*) e rodapé de informação (*footer*). Essa distribuição geralmente considera a importância do conteúdo a ser exibido em função da facilidade de acessar determinada área da página, estabelecendo uma relação de hierarquia com base na relevância da informação. Analisando o contexto dos *e-commerces* isso explica porque informações como ofertas ou carrinho ficam em zonas privilegiadas, em geral no topo, enquanto informações burocráticas ou institucionais como o Serviço de Atendimento ao Consumidor (SAC) são postas no *footer*.

Tomando como base o mesmo princípio, propomos uma divisão similar contendo as seções: *cover*, *header*, *navigation*, *content*, *toolbar*. As seções *header*, *navigation* e *content* são respectivamente equivalentes às que encontramos em páginas web tradicionais, sendo a principal diferença a presença de uma seção *toolbar*, e uma seção *cover* que equivale ao que seria o *footer*, uma vez que seu posicionamento localizado logo acima do usuário requer maior rotação da cabeça no eixo X e portanto maior esforço não sendo esse um movimento muito natural.

Figura 19 – Seções consideradas no ambiente virtual 3D



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.2.3 Header

Para as seções de *header* e *navigation*, que em muitas situações acabam sendo mescladas, construímos um componente que batizamos de *umbrella* menu devido ao seu formato e comportamento semelhante a um guarda chuvas. Recobrimo parcialmente o topo do ambiente e acompanhando o formato do domo, esse elemento com um raio de vinte metros, agrupa os links das principais seções da loja. Como de costume, dispostos na horizontal, mas em nosso caso alinhados verticalmente na parte inferior próximos da base e respeitando o layout circular com as normais de cada face apontando em direção ao centro do ambiente virtual.

Figura 20 – Umbrella menu com header e links de navegação



Fonte: Elaborado pelo autor.

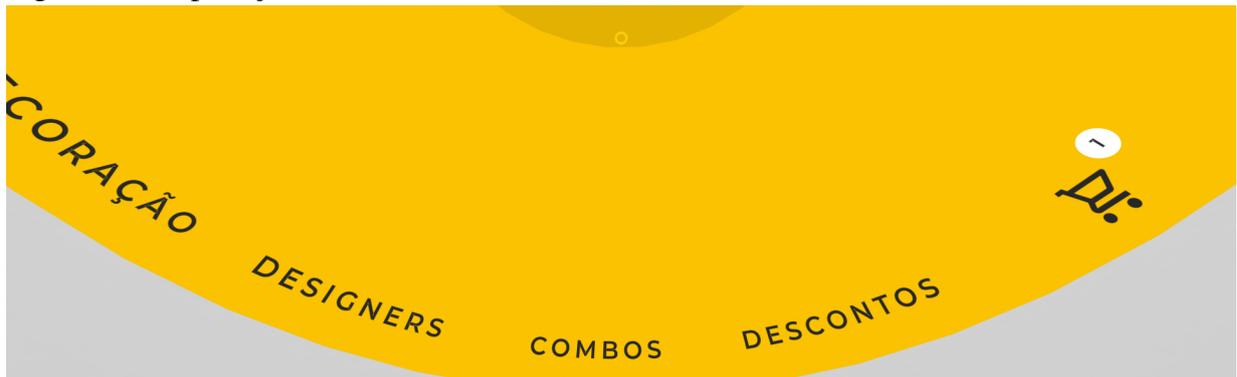
Um dos desafios desse componente foi deformar a geometria dos textos de modo a acompanhar a curvatura da circunferência base no layout. A exibição de plano em paralelo às paredes de um “cilindro” era visualmente desconfortável. Uma vez que o componente de texto do A-Frame não possui esse recurso por padrão a solução foi o uso de uma biblioteca externa chamada *troika-text-component*.

Além da capacidade de curvar os textos, ela nos trouxe uma série de funcionalidades que ajudam a trabalhar com tipografias incluindo o recurso de ligaduras e a possibilidade de adicionar fontes externas com extensões diretamente de arquivos .otf ou .ttf, algo que também não é possível utilizando somente a primitiva *a-text*. Isso nos permitiu, dentre outras coisas, adicionar a tipografia principal da Muma a família Montserrat e a fonte Material Icons para lidar com os ícones sem a necessidade de carregar imagens como texturas.

6.2.4 Content

A área de conteúdo referente a seção *content* é variável e muda a depender do espaço, mas esse é principalmente o lugar onde os objetos 3D serão distribuídos. Ao explorar esse ambiente o menu *umbrella* se retrai aumentando a visibilidade do conteúdo e proporcionando uma experiência mais imersiva, comportamento similar ao que encontramos em páginas web que escondem a barra de navegação durante os eventos de *scroll down*. No espaço inicial, encon-

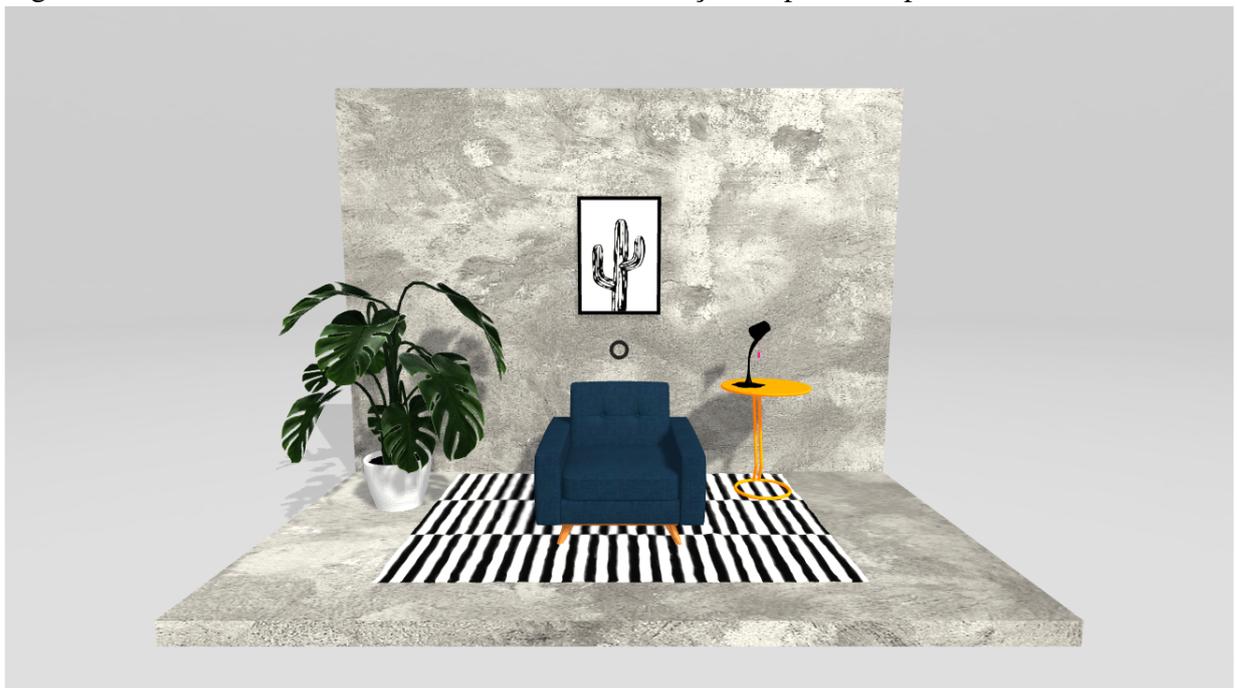
Figura 21 – Aplicação das fontes Montserrat e Material Icons



Fonte: Elaborado pelo autor.

tramos pequenos ambientes exibindo uma composição de produtos organizados por contexto. A ideia é aumentar o interesse do cliente apresentando possíveis combinações ao invés de mostrar apenas os produtos separados, algo que os *e-commerces* tradicionais geralmente fazem por meio de *banners* no topo de sua página principal.

Figura 22 – Área de conteúdo exibindo uma combinação de produtos para sala

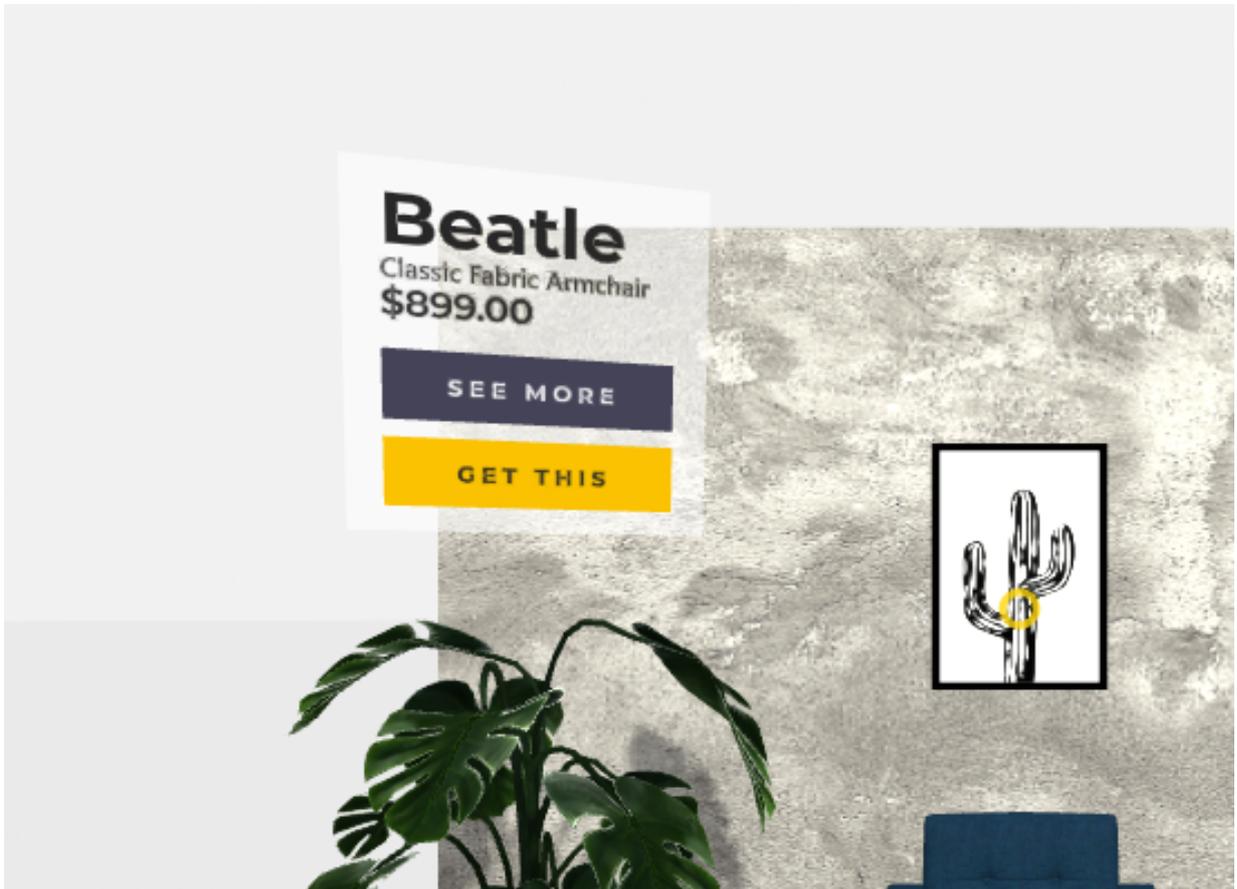


Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesse ambiente, ao posicionar o cursor sobre os produtos um *pop-up* é exibido contendo informações básicas como nome e preço além de botões com os quais o usuário pode interagir navegando para o espaço de detalhes ou adicionando o produto diretamente ao carrinho. O uso de elementos essencialmente 2D como *pop-ups* e botões é a base da navegação que estabelecemos para esse protótipo sendo um dos maiores desafios nesse contexto o modo como

os elementos se comportam dentro de um *container* bidimensional.

Figura 23 – Exibindo popup com ações rápidas do produto no espaço inicial



Fonte: Elaborado pelo autor.

Diferente do que acontece no desenvolvimento web tradicional onde a abordagem padrão é que os *containers* assumam uma dimensão vertical automática baseado no conteúdo interno, por padrão o A-Frame não possui nenhum layout fluido sendo todos os elementos posicionados de maneira fixa. Se uma posição não for especificada o elemento será posicionado com base no ponto de origem do elemento pai ou no centro do ambiente virtual se estiver no escopo global. Essa característica se torna especialmente problemática quando necessitamos posicionar elementos abaixo de um conteúdo variável como é o caso de um bloco de texto descritivo cuja dimensão vertical é incerta. Para lidar com esse problema desenvolvemos um componente baseado no comportamento do *flexbox*.

6.2.5 Detalhes do Produto

Os links disponíveis no menu principal navegam para um espaço de listagem filtrando os produtos com base na categoria selecionada. Os produtos são dispostos de forma circular em

torno de um grande cilindro criando uma estrutura semelhante a um carrossel. O usuário pode interagir com essa lista realizando “scroll” por meio de controles virtuais posicionados a sua frente. Os objetos são deslocados em torno do cilindro no sentido horário ou anti horário, ao completarem um giro de 180° em relação a sua posição original eles são substituídos por outros caso a quantidade de produtos a ser exibida exceda o número de *slots* disponíveis no carrossel, criando uma espécie de rolagem infinita *infinity scroll*.

Figura 24 – Listagem de produtos filtrados pela categoria móveis



Fonte: Elaborado pelo autor.

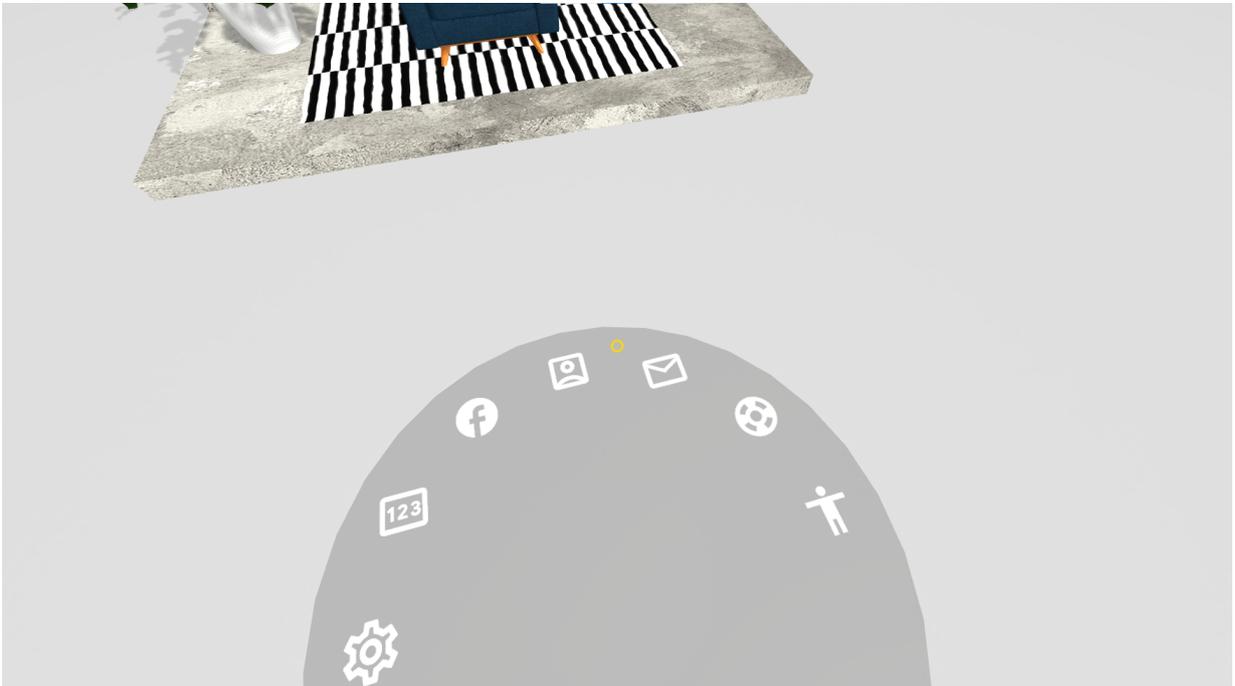
Ao selecionar uma das opções na lista o usuário navega para uma tela de detalhes do produto onde pode obter mais informações. Por meio de um plano posicionado a frente da câmera adicionamos um efeito de fade in e fade out durante a transição, reduzindo o desconforto de uma mudança repentina nos elementos da cena. Nesse espaço, temos o produto posicionado ao centro à frente do usuário e ao seu redor estão os controles de retorno, rotação e zoom. Optamos por projetar esses controles no plano referente ao chão sempre que possível a fim de reduzir a aplicação de elementos bidimensionais flutuando no espaço.

Posicionado à direita do produto, temos as principais informações textuais como, nome, preço, descrição, além dos botões comprar agora e adicionar ao carrinho. Rotacionando a esquerda temos as principais recomendações de produtos similares ou complementares baseadas no produto selecionado. O produto ainda apresenta informação complementar por meio de um componente que decidimos nomear de *Dot Info*. São pequenas porções de texto espalhadas na

6.2.6 *Toolbar e Cover*

Por fim, a seção *toolbar* é muito semelhante à seção *cover*, mas posicionada no mesmo local do usuário, o zero absoluto do ambiente virtual. O componente é um círculo projetado no plano logo abaixo da câmera, que quando interage com o cursor se expande a partir do seu ponto de origem, criando o que normalmente chamamos de pie menu, ou em nosso caso, preferimos pizza menu. A intenção com esse componente é agrupar o controle de ações secundárias em um escopo de aplicação ancorado ao usuário, podendo ser acessado estando em qualquer espaço, mas permanecendo visível apenas durante o uso, é ideal para configurações.

Figura 27 – Seção toolbar exibindo ações de configuração



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesse relato optamos por nos ater apenas aos componentes principais, entretanto alguns componentes utilitários foram desenvolvidos que futuramente serão publicados como pacotes no npm. Alguns exemplos são o componente *pivot* para deslocar o ponto de origem de um objeto dentro de sua geometria, um componente *variants* para lidar com o peso e estilo das fontes, um componente *cascade* para propagar determinadas propriedades aos elementos filhos de forma semelhante ao comportamento do css, ou ainda a criação de uma geometria plana com bordas arredondadas, para simular a propriedade *border-radius*, que não tem suporte nativo no A-Frame. Uma lista completa dos componentes pode ser encontrada no apêndice A.

7 RESULTADOS

Embora tendo optado por não seguir o protocolo formal de avaliação heurística, na ausência de princípios mais específicos para ambientes RV de comércio eletrônico, decidimos adotar o conjunto das 10 heurísticas de Nielsen para nortear nossa inspeção e eventual discussão dos problemas de usabilidade identificados. Embora já existam heurísticas propostas para avaliar interfaces de RV, ainda não existe um consenso e a maioria delas foram pensadas para ambientes de entretenimento, como jogos digitais, cujo os requisitos são muito diferentes de aplicações para *e-commerce*. A decisão de sermos mais genéricos nesse sentido, foi tomada por ser esse um dos primeiros conjuntos de heurísticas definidos para analisar interfaces digitais e por se tratar da base para muitos outros, podendo ser aplicáveis a praticamente qualquer sistema. Sendo elas:

1. Visibilidade do status do sistema
2. Equivalência entre o sistema e o mundo real
3. Controle do usuário e liberdade
4. Consistência e padrões
5. Prevenção de erro
6. Reconhecer ao invés de relembrar
7. Flexibilidade e eficiência de uso
8. Estética e design minimalista
9. Auxílio ao usuário para reconhecer, diagnosticar e recuperar-se de erros
10. Ajuda e documentação

Tendo em mente que se trata de um protótipo e se encontra em estágio de desenvolvimento inicial, é natural que a maior parte dos problemas seja de caráter estético ou problemas menores como a ausência de *feedbacks*. Apesar das heurísticas em questão não terem sido pensadas para ambientes de realidade virtual, foi possível identificar uma lista relativamente extensa de problemas na interface. Por isso discutiremos brevemente apenas os de gravidade mais alta. A análise dos resultados leva em conta o nível de gravidade dos problemas de acordo com a lista abaixo e com a dificuldade envolvida em apresentar uma solução.

- Nível 0: não é encarado necessariamente como um problema de usabilidade
- Nível 1: problema estético. Não necessita ser corrigido, a menos que haja tempo
- Nível 2: problema de usabilidade menor. Baixa prioridade para sua correção
- Nível 3: problema de usabilidade maior. Alta prioridade para sua correção
- Nível 4: catástrofe de usabilidade, necessário corrigi-lo o mais rápido possível

Quadro 1 – Principais problemas de usabilidade encontrados

Gravidade	Heurísticas	Descrição
3	10, 6	Por padrão o menu de navegação permanece oculto, ficando visível apenas na interação com o cursor, mas não há nada que indique a existência dele.
3	3, 7	Não existe forma de encontrar os produtos que não seja pelo menu de categorias ou diretamente na tela inicial, algo com uma barra de busca seria bom.
3	1,6	Ao filtrar os produtos por uma categoria a partir do menu de navegação não sabemos em qual categoria estamos depois de selecionar.
3	5, 9	Na tela de detalhes do produto, se o usuário ampliar o zoom e sair da tela sem antes remover o zoom vai permanecer com zoom na tela seguinte.
2	1	Na tela de listagem dos produtos, se houver uma lista grande não sabemos em que ponto da lista nos encontramos para saber o quanto já rolamos.
2	1, 9	Na tela de listagem dos produtos, não existe um feedback de lista vazia para indicar ao usuário que nenhum produto foi encontrado.
2	2, 3	Na tela de listagem dos produtos, ao alternar entre os controles de rotação horária e anti-horária a animação não continua do ponto em que está.
2	3, 2	Na tela de detalhes do produto, não é possível se aproximar do produto além do zoom estabelecido de 1.5x. O zoom tem apenas 1 nível.
2	4	Na tela de detalhes do produto, a ação dos controles de rotação ocorre apenas com o cursor fora do ícone, enquanto as demais ações de zoom e voltar ocorrem somente quando o cursor interage com o ícone.
2	5, 2	Nas telas de listagem e detalhes do produto, a ação do botão de voltar pode não ser tão clara, talvez o ícone de X não seja o mais indicado.
2	6	Na tela de detalhes do produto, a ação de fechar os popups de informação existentes no produto não é muito clara usando só o hover, talvez um X possa ajudar.
2	8	Na tela de detalhes do produto, os vários balões abertos ao mesmo tempo podem poluir o visual e dificultar a leitura.
2	7	Se o usuário rotacionar demais a partir do ponto onde iniciou quando abre o menu de navegação os links podem não ser visíveis por estar na direção oposta.
2	5	Na tela de listagem dos produtos ao interagir com os botões de scroll, os produtos continuam rolando mesmo quando a lista de produtos termina, os itens vão sendo empurrados se tornando cada vez mais distantes.
2	4	Na tela inicial navegamos para os detalhes clicando no nome do produto e na tela listagem navegamos clicando direto no produto e não há nada que indique isso.
2	1, 6	Não é possível identificar o caminho percorrido no sistema a partir da tela inicial até o ponto atual.

Continua...

Gravidade	Heurísticas	Descrição
1	4	O feedback ao selecionar um produto (uma espécie de anel que aparece no chão abaixo dele) não existe na tela inicial.
1	4	O feedback do cursor (mudando de cor para amarelo) não aparece durante a interação com os links do menu de navegação.
1	4	O produto na tela inicial não é clicável mas tem o feedback do cursor (mudando de cor para amarelo).
1	8	Ao navegar para a tela de detalhes do produto, o painel lateral contendo as informações textuais pisca rapidamente antes de ser ocultado.
1	8	Ao usar o botão voltar o fadeout pisca como se ocorresse duas vezes seguidas.
1	3	Uma vez aberto, o popup com o nome do produto não pode ser fechado apenas alterado quando interagimos com outro produto.
1	1, 5, 2	Na tela de detalhes do produto não existe um feedback nos botões interativos de "adicionar ao carrinho" ou "comprar agora".
1	1, 5	Na tela de detalhes do produto o feedback do cursor (mudando de cor para amarelo) é imperceptível sobre o botão de "comprar agora" que é da mesma cor.
1	4	Em todas as telas, alguns elementos interativos emitem som interagindo com o cursor e outros não.
1	8	Na tela de detalhes do produto, no painel de informações, existe pouco contraste do texto referente ao preço e a cor de fundo do ambiente.
1	8	Na tela de detalhes do produto, o painel na lateral direita contendo as informações textuais fica piscando ao mover o cursor sobre brechas no produto.
0	4	Na tela de listagem dos produtos o layout dos botões de controle não é circular como nos demais e sim retangular.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O problema relacionado a visibilidade do menu pode ser amenizado por meio de um tutorial introdutório para novos usuários, ou apenas mantendo o menu ativo no início da sessão e escondendo depois de alguns segundos ou da primeira interação. Embora a primeira ideia seja uma solução mais cara de se desenvolver, ela pode ser reaproveitada para explicar o comportamento de outros mecanismos no sistema durante um uso inicial e nada impede que as duas sejam combinadas.

O segundo problema, referente a facilidade de encontrar o produto que desejamos na loja é um pouco mais complicado de ser resolvido. O filtro por categorias pode ser ainda muito abrangente a depender do tamanho da loja e total de produtos, uma solução seria especificar mais os filtros com subcategorias. Outra possibilidade é utilizar um mecanismo de busca que por si só

não é muito complexo, mas acaba implicando em outros problemas, como a necessidade de um teclado virtual uma vez que não é possível usar o teclado nativo com o celular acoplado ao suporte *HMD*. A eficiência desse teclado também se torna um ponto questionável uma vez que usuário não disponha de controles externos para interação e tenha que esperar alguns milissegundos para a ativação de cada tecla, a princípio pode parecer pouco, mas esse tempo somado pode comprometer a eficiência da interface e consequentemente a satisfação do usuário. Soluções alternativas complementares podem incluir um teclado com mecanismo de *swipe* ou mesmo uma busca por voz que pode não ser acessível para alguns usuários mas de modo geral ajuda a minimizar o problema.

O terceiro problema, referente a exibição da categoria ou departamento atual que o usuários se encontra pode ser resolvido apenas alterando a cor do item que ele selecionou no menu de navegação, mas essa solução pode não solucionar definitivamente o problema tendo em mente que o menu de navegação permanece invisível na maior parte do tempo a fim de aumentar a imersão no ambiente. Talvez seja necessário adicionar um texto ou elemento 3D diretamente na área de conteúdo informando a seção ou departamento, mas é provável que um texto isolado flutuando no espaço não seja muito interessante visualmente o principal desafio aqui diz respeito a exibição dessa informação de modo que não roube a cena chamando mais atenção do que deveria. Por fim, o quarto problema referente a câmera que mantém o zoom mesmo quando o usuário deixa o espaço do produto se trata de um *bug* e precisa apenas ser corrigido.

Apesar do caráter experimental de nosso trabalho não ter a pretensão de provar nada acreditamos que o resultado geral foi positivo tendo em mente que a maior parte dos problemas de usabilidade identificados são de gravidade 0, 1 e 2, referente a problemas menores. Mais precisamente 24 de um total de 28, representando cerca de 85%. Apenas 4 possuem gravidade 3, moderada e nenhum problema de ordem catastrófica, gravidade 4, foi apontado. É importante salientar que o teste proposto não tem validade como um teste de usabilidade formal, visto ter sido realizado apenas por participantes diretamente envolvidos na etapa de desenvolvimento. Nesse contexto é difícil se isolar a ponto de perceber os problemas de maneira mais profunda, sendo altamente recomendado o envolvimento de terceiros para garantir a integridade da avaliação. Portanto, se trata apenas de uma inspeção com o intuito de identificar de maneira prévia, *bugs* e problemas de design na interface que possam comprometer a experiência do usuário.

7.0.1 Lições Aprendidas

É nosso desejo que esse trabalho possa motivar outros pesquisadores a se interessar pelo estudo da usabilidade em ambientes tridimensionais e pela aplicação da RV em áreas que vão além do entretenimento. Com isso em mente, nesta seção, compartilhamos algumas recomendações com base nas principais lições aprendidas, para que outros pesquisadores possam construir sobre nosso fundamento e aprender com nossos erros ao invés de repeti-los.

1. Teste dentro do ambiente de RV. A primeira versão do sistema foi construída olhando apenas para a tela do *PC*, mas a projeção da cena é diferente quando você está imerso, a "realidade" se distorce diante de seus olhos enquanto a profundidade e dimensão dos objetos se tornam evidentes. Como resultado desse erro, tivemos que adaptar parâmetros de diversos componentes e até repensar alguns. Desenvolver no *PC* não é um problema, apenas lembre de validar tudo em RV periodicamente.
2. Mantenha uma hierarquia de informação. Embora o usuário esteja completamente imerso em um ambiente virtual 3D onde a tela o cerca de todos os lados, ainda existem áreas mais fáceis e mais difíceis de se acessar, assim como acontece em ambientes 2D. Evite colocar informações importantes em zonas de maior esforço. Essa questão diz respeito ao design, ergonomia e usabilidade. Nas primeiras versões, o menu de navegação foi posicionado bem acima do usuário, criando um desconforto ao exigir uma rotação da cabeça de quase 90° no eixo X. Esse provavelmente é um dos piores lugares para um menu importante.
3. Monte sua cena nas dimensões necessárias. Apesar do espaço ser teoricamente infinito, a tecnologia é sempre limitada, e dosar com cuidado as medidas pode ajudar a evitar problemas desnecessários. Objetos distantes, ainda que muito grandes, tendem a não ser renderizados corretamente, sendo exibidos parcialmente ou não apresentando efeitos, como sombras. Limite também a distância do seu cursor de acordo com as proporções de seu ambiente; isso evita a interação com objetos acidentalmente, em especial quando estiver usando o mecanismo de *cursor fuse*, sem a presença de gatilhos físicos em um controle. Também vale lembrar para não reduzir demais o ambiente "externo", pois a perspectiva da câmera pode distorcer a imagem, criando uma curvatura na linha do horizonte, como se estivéssemos em um micro planeta.
4. Aproveite os *plugins* do Blender. A recomendação do A-Frame para lidar com modelos 3D externos é usar a extensão *.glTF*, pois ela favorece a performance e a praticidade. Esse formato pode empacotar quase tudo que existe em uma cena básica, como malhas,

geometrias, animações, texturas e até luzes em um único arquivo. Contudo, possui limitações em comparação com arquivos nativos do Blender. Por isso, recomendamos o uso de 4 *plugins* em especial que podem poupar muito tempo ao manipular a transição entre os formatos e gerenciar os modelos. São eles: "Super Batch Export", "Blender Bake Lab 2", "Blender Kit" e "Chocofur Model Manager". É importante mencionar que todos os materiais no objeto do Blender precisam ser do tipo *Principled BSDF*.

5. Use o Svelte. A etapa de escolha da *stack* e configuração do ambiente foi uma jornada à parte em nosso trabalho. Muitas tecnologias foram testadas durante as primeiras semanas, nos dando segurança para apontar o *framework* Svelte como a melhor solução em conjunto com o A-Frame até o presente momento. Se esperamos contar com todos os recursos disponíveis no desenvolvimento web *front-end* moderno, será necessário o auxílio de algum *framework* além do A-Frame, uma vez que sua proposta é atuar na camada mais baixa. Em nossos testes, o Svelte foi o único capaz de entregar todos os recursos e funcionalidades esperadas sem comprometer o desempenho da aplicação.
6. Não use a primitiva *a-text*. O componente nativo do A-Frame para lidar com texto é muito limitado. Ele não pode ser curvado, não tem quebra de linhas, nem de palavras, e o processo de importar uma fonte externa é mais complicado do que deveria. É necessário converter os caracteres em imagem usando uma ferramenta externa e, em seguida, importar essas texturas no A-Frame e renderizá-las como um *shader* do tipo *sdf*. No fim, não é muito eficiente, por vezes até quebra a renderização. Boa parte de nossos problemas nesse contexto foram resolvidos por um componente de terceiros chamado "troika-text-component". Infelizmente, perdemos algum tempo, e sendo a inclusão de texto uma demanda muito básica de qualquer sistema, recomendamos o uso desse pacote.
7. Use o *Material Design (MD)*. Esse *framework* de design, criado pela Google, é uma metáfora inspirada no comportamento do mundo real, incluindo a reflexão de luzes e a projeção de sombras Google (2021). A ideia por trás do conceito do *MD* é simular as propriedades encontradas em um ambiente 3D, como luz e sombra, em aplicações 2D, como se lançadas contra a face de um papel. Isso melhora as *affordances* e enriquece o visual da interface sem comprometer a simplicidade. Esse conceito se encaixa como uma luva, dada a natureza tridimensional de nossa aplicação. Seguir os princípios estabelecidos no *guideline* do *MD* também pode evitar a implementação de comportamentos igualmente indesejáveis em ambientes 2D e 3D, como a interseção direta entre dois elementos.

8 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Esperamos que este trabalho possa pavimentar o caminho das pedras para outros pesquisadores interessados na aplicação da realidade virtual ao comércio eletrônico na web, sobretudo no contexto de *Mobile Based VR*. Que nossos erros e acertos venham a cooperar para que possamos descobrir juntos de que formas a RV pode melhorar as nossas vidas, não apenas durante experiências de compra online, mas em todos os cenários onde ela pode ser aplicada. Desejamos também que ele possa inspirar outros a pensar de que modo podemos construir interfaces de usuário fora do paradigma de janelas, ao qual estamos habituados, mantendo a eficiência e facilidade de uso mesmo em ambientes com três dimensões.

Diante do caráter experimental e embrionário desse trabalho acreditamos que ainda há muito a explorar e aprender sobre como construir interfaces de usuário para realidade virtual com boa usabilidade, bem como descobrir a melhor maneira de extrair todo o potencial dessa tecnologia para fins que vão além do entretenimento, como é o caso, em nosso contexto, do comércio eletrônico. Entre os possíveis desdobramentos que possam surgir a partir desse experimento desejamos pontuar brevemente alguns que entendemos contribuir significativamente na direção do trabalho que iniciamos de aplicação da RV em lojas virtuais na web.

Embora nosso trabalho tenha se concentrado no segmento de Realidade Virtual, acreditamos que os benefícios da Realidade Aumentada podem ser especialmente atrativos no contexto de lojas online do ramo de móveis e decoração. Inserir e visualizar o produto no ambiente real previamente pode aumentar a percepção do mesmo reduzindo a insegurança e motivando a compra. Um passo mais ousado seria a inclusão de um vendedor virtual inteligente. Um avatar 3D integrado a uma Inteligência Artificial (IA) generativa treinada especificamente para fornecer ajuda e informações sobre os produtos, de maneira semelhante aos assistentes virtuais baseados em chat, mas nesse caso podendo interagir também por voz ou mesmo linguagem de sinais. Por fim a inclusão de mecanismos, como teclado *swipe*, barra de busca e busca por voz, não disponíveis até o momento, podem facilitar a interação.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, S.; SILVA, B. **Interação humano-computador**. [S. l.]: Elsevier Brasil, 2010.
- BLOG, O. G. **Unfolding a virtual journey with Google Cardboard**. 2016. Disponível em: <https://www.googblogs.com/unfolding-a-virtual-journey-with-google-cardboard/>. Acesso em: 10 set. 2020.
- BOWMAN, D. A.; KRUIJFF, E.; JR, J. J. L.; POUPYREV, I. An introduction to 3-d user interface design. **Presence: Teleoperators & Virtual Environments**, MIT Press, v. 10, n. 1, p. 96–108, 2001.
- CAELUM. **Ux e usabilidade aplicados em mobile e web**. 2020. Disponível em: <https://www.caelum.com.br/apostila-ux-usabilidade-mobile-web/usabilidade-mobile>. Acesso em: 10 set. 2020.
- CHITTARO, L.; RANON, R. Virtual reality stores for 1-to-1 e-commerce. In: **Proceedings of the CHI2000 Workshop on Designing Interactive Systems for 1-to-1 E-Commerce**. [S. l.: s. n.], 2000.
- CHITTARO, L.; RANON, R. New directions for the design of virtual reality interfaces to e-commerce sites. In: ACM. **Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces**. [S. l.], 2002. p. 308–315.
- CORTIZ, D. **A Web na era da realidade virtua**. 2017. Disponível em: <https://imasters.com.br/desenvolvimento/web-na-era-da-realidade-virtual/?trace=1519021197&source=single>. Acesso em: 11 maio. 2018.
- COSTELLO, P. J. **Health and safety issues associated with virtual reality**: a review of current literature. [S. l.]: Citeseer, 1997.
- DECORATIONS, G. R. **Virtual Desktop for Vr is A Glimpse at A Future without Monitors Design Ideas Of Dual Monitor Setup for Gaming**. 2017. Disponível em: <http://alovinforkful.com/dual-monitor-setup-for-gaming/virtual-desktop-for-vr-is-a-glimpse-at-a-future-without-monitors-design-ideas-of-dual-monitor-setup-for-gaming/>. Acesso em: 15 jun. 2018.
- FOSTER, G.; WHEELOCK, C. **Over 200 Million Vr Headsets to Be Sold by 2020**. 2015. Disponível em: <http://fortune.com/2016/01/21/200-million-vr-headsets-2020/>. Acesso em: 15 abr. 2018.
- GOOGLE. **Introduction principles material design**. 2021. Disponível em: <https://m2.material.io/design/introduction#principles>. Acesso em: 15 jul. 2023.
- GOOGLE, C. **Google Cardboard**. 2018. Disponível em: <https://vr.google.com/cardboard/>. Acesso em: 20 maio. 2018.
- GOOGLE, V. D. G. **Exemplo de inteção simples**. 2017. Disponível em: <https://arvrjourney.com/interactive-targets-in-virtual-reality-ui-e0af78353f25>. Acesso em: 05 Dezembro. 2019.
- GSMA. **The Mobile Economy - Latin America 2019**. 2019. Disponível em: https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2020/03/GSMA_MobileEconomy2020_LATAM_Eng.pdf. Acesso em: 27 jun. 2023.

GUTTENTAG, D. A. Virtual reality: Applications and implications for tourism. **Tourism Management**, Elsevier, v. 31, n. 5, p. 637–651, 2010.

HART, B. **CES 2014: Oculus Rift Awards and Mentions**. 2014. Disponível em: <https://www.roadtovr.com/oculus-rift-crystal-cove-ces-2014-awards-mentions/>. Acesso em: 03 jun. 2018.

HTC, C. **Virtual reality is a real opportunity**. 2018. Disponível em: <https://arcade.viveport.com/landing>. Acesso em: 22 maio. 2018.

IDC, I. D. C. **Worldwide Quarterly AR and VR Headset Tracker**. 2018. Disponível em: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS43639318>. Acesso em: 07 jun. 2018.

ISO, S. 9241-11 (1998). **Ergonomic Requirements for Office Work with Visual Display Terminals (VDTs)–Part II Guidance on Usability**, 1998.

JORDAN, P. W. **An introduction to usability**. [S. l.]: Crc Press, 1998.

KANG, H. J. Designing next generation marketplace: The effect of 3d vr store interface design on shopping behavior. In: IEEE. **Virtual Reality (VR), 2017 IEEE**. [S. l.], 2017. p. 411–412.

LG, C. **Verdadeira tela curva Ultrawide™ 21:9**. 2018. Disponível em: <https://www.lg.com/br/informatica>. Acesso em: 26 abr. 2018.

LIMA, G. **Entenda como funciona o óculos de realidade virtual**. 2016. Disponível em: <http://www.roboticsoftware.com.br/entenda-como-funciona-o-oculos-de-realidade-virtual>. Acesso em: 26 abr. 2018.

LLAMAS, S.; NGAI, A. **Virtual Reality Market and Consumers**. 2016. Disponível em: <https://www.superdataresearch.com/market-data/virtual-reality-industry-report>. Acesso em: 30 maio. 2018.

LUUKKONEN, O. **Romans From Mars 360 - Take down all the enemies**. 2016. Thumbnail de video no youtube. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=4__BP6MUPJo. Acesso em: 26 abr. 2018.

NASALSKAYA, O. **How to get into VR and 360° videos**. 2017. Disponível em: <https://www.fipp.com/news/features/the-long-read-how-to-get-into-vr-and-360-videos>. Acesso em: 21 abr. 2018.

NIELSEN, J. **Usability engineering**. [S. l.]: Elsevier, 1994.

NIELSEN, J. **Projetando websites**. [S. l.]: Gulf Professional Publishing, 2000.

NIELSEN, J.; LORANGER, H. **Usabilidade na web**. [S. l.]: Elsevier Brasil, 2007.

NORMAN, D. A. **The psychology of everyday things.(The design of everyday things)**. [S. l.]: Basic Books, 1988.

PAGE, T. Skeuomorphism or flat design: future directions in mobile device user interface (ui) design education. **International Journal of Mobile Learning and Organisation**, Inderscience Publishers Ltd, v. 8, n. 2, p. 130–142, 2014.

- PAUSCH, R.; PROFFITT, D.; WILLIAMS, G. Quantifying immersion in virtual reality. In: ACM PRESS/ADDISON-WESLEY PUBLISHING CO. **Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques**. [S. l.], 1997. p. 13–18.
- PAYÃO, F. **Entenda como funciona a realidade virtual para smartphones**. 2016. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/samsung-gear-vr/105725-entenda-funciona-realidade-virtual-smartphones-video.htm>. Acesso em: 20 maio. 2018.
- PERLA, R.; HEBBALAGUPPE, R. Google cardboard dates augmented reality: Issues, challenges and future opportunities. **arXiv preprint arXiv:1706.03851**, 2017.
- PNAD, I. **PNAD Contínua do IBGE - Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC)**. 2019. Referente ao 4º trimestre de 2019. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua - Tecnologia da Informação e Comunicação (PNAD Contínua TIC). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/educacao/17270-pnad-continua.html>. Acesso em: 23 abr. 2021.
- PWC. **Pesquisa Global de Entretenimento e Mídia 2022–2026**. 2022. Disponível em: <https://www.pwc.com.br/pt/estudos/setores-atividades/entretenimento-midia/2022/GEMO-2022.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2023.
- RESEARCH, Z. M. **2016 Virtual Reality (VR) Market Size Revenue to Grow by USD 26.89 Billion in 2022**. 2018. Disponível em: <https://www.globenewswire.com/news-release/2018/02/14/1348008/0/en/2016-Virtual-Reality-VR-Market-Size-Revenue-to-Grow-by-USD-26-89-Billion-in-2022.html>. Acesso em: 10 set. 2020.
- SHERMAN, W. R.; CRAIG, A. B. **Understanding virtual reality: Interface, application, and design**. [S. l.]: Elsevier, 2002.
- STEUER, J. Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence. **Journal of communication**, Wiley Online Library, v. 42, n. 4, p. 73–93, 1992.
- SUH, K.-S.; CHANG, S. User interfaces and consumer perceptions of online stores: The role of telepresence. **Behaviour & Information Technology**, Taylor & Francis, v. 25, n. 2, p. 99–113, 2006.
- SUH, K.-S.; LEE, Y. E. The effects of virtual reality on consumer learning: an empirical investigation. **Mis Quarterly**, JSTOR, p. 673–697, 2005.
- TILSON, R.; DONG, J.; MARTIN, S.; KIEKE, E. Factors and principles affecting the usability of four e-commerce sites. In: **Proceedings of the 4th Conference on Human Factors & the Web, Basking Ridge, New Jersey**. Retrieved July. [S. l.: s. n.], 1998. v. 3, p. 2005.
- VRS. **Head-mounted Displays (HMDs)**. 2018. Disponível em: <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality-gear/head-mounted-displays/>. Acesso em: 20 set. 2018.
- WEXELBLAT, A. **Virtual reality: applications and explorations**. [S. l.]: Academic Press, 2014.
- WIKIPEDIA. **Google Cardboard**. 2018. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Google_Cardboard. Acesso em: 10 maio. 2018.

WIKIPEDIA. **Virtual reality**. 2018. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_reality. Acesso em: 10 maio. 2018.

WITMER, B. G.; SINGER, M. J. Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. **Presence**, MIT Press, v. 7, n. 3, p. 225–240, 1998.

XINREALITY. **Head Mounted Display**. 2018. Disponível em: https://xinreality.com/wiki/Head-mounted_display#Types_of_HMDs. Acesso em: 20 set. 2018.

YEH, C.-H.; WANG, Y.-S.; LI, H.-T.; LIN, S.-Y. The effect of information presentation modes on tourists' responses in internet marketing: the moderating role of emotions. **Journal of Travel & Tourism Marketing**, Taylor & Francis, v. 34, n. 8, p. 1018–1032, 2017.

ZENG, W.; RICHARDSON, A. Adding dimension to content: Immersive virtual reality for e-commerce. 2016.

ZENG, W.; RICHARDSON, A. Using immersive virtual reality to create presence in online shopping. In: **Australasian Conference on Information Systems**. [S. l.: s. n.], 2017.

APÊNDICE A – BIBLIOTECA DE COMPONENTES

Apresentamos aqui uma tabela com todos os componentes desenvolvidos durante nosso experimento, seguindo de uma breve descrição da solução proposta e quais deles serão publicados como pacotes no repositório do *NPM*.

Quadro 2 – Descrição dos componentes desenvolvidos

Npm	Nome	Descrição
sim	button	Encapsula a estrutura de um botão simples
sim	cascade	Propaga determinadas propriedades para os elementos filhos, similar ao CSS
não	children	Renderiza elementos filhos recebidos em um template por children
sim	flex-layout	Um componente que simula o comportamento do Flexbox no CSS
sim	frame	Envolve objetos 2D para uso com o Flex-layout
não	input	Implementa a lógica básica de um campo de texto
sim	keyboard	Implementa a lógica básica de um teclado virtual
sim	label	Uso em conjunto com o input para simular um rótulo
sim	look-to	Move a câmera em uma direção arbitrária definida por coordenadas
sim	navigate	Gerencia a transição de rotas
sim	origin	Altera o ponto de origem de uma geometria
não	pivot	Altera o pivô de uma malha
não	popup	Controla a exibição de pop-ups
não	resize	Identifica eventos de redimensionamento na tela
sim	variants	Define variações da tipografia como estilo e peso
sim	wrapper	Cria uma caixa invisível em volta do objeto com suas dimensões
GitHub: https://github.com/isaac-pj/vr-store		

Fonte: Elaborado pelo autor.

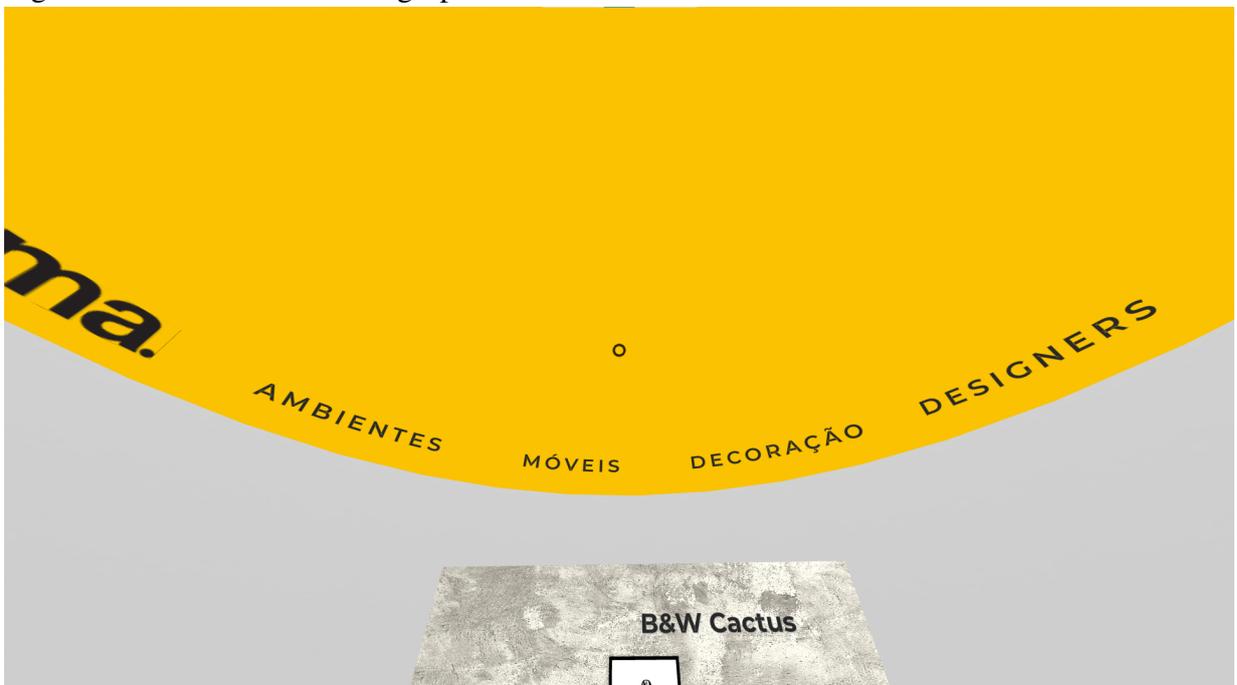
APÊNDICE B – GALERIA DE IMAGENS

Figura 28 – Tela inicial exibindo label do produto



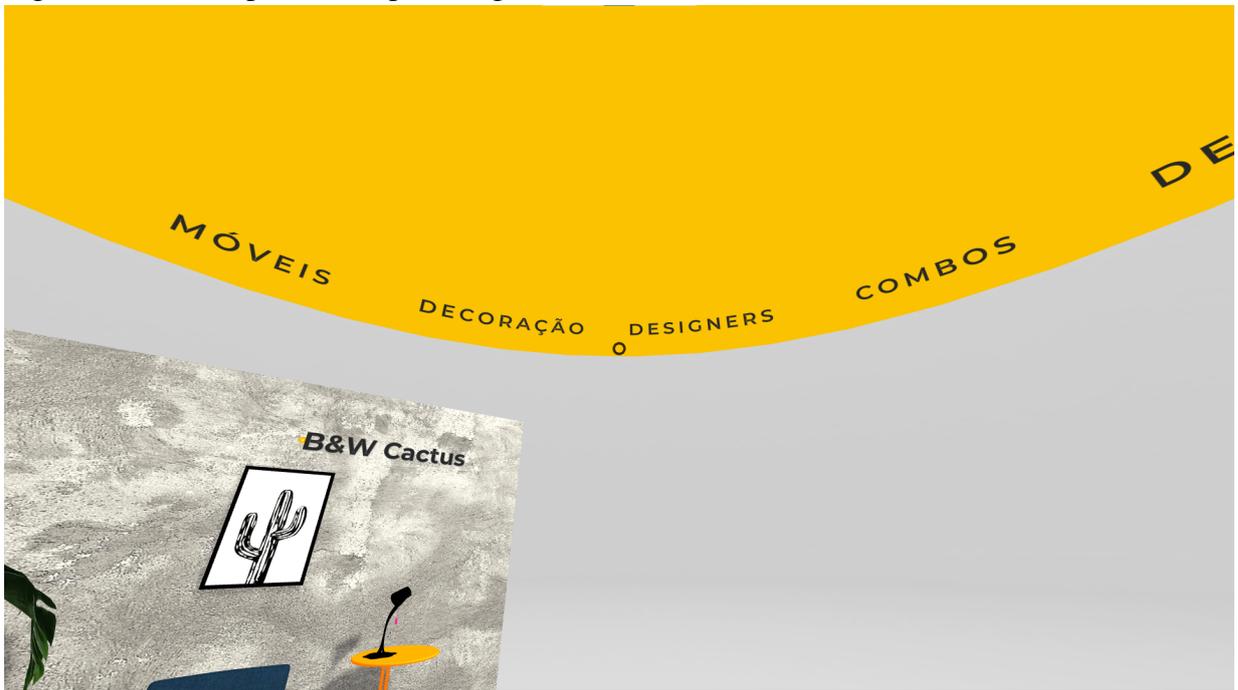
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 29 – Header e navbar agrupados no menu umbrella



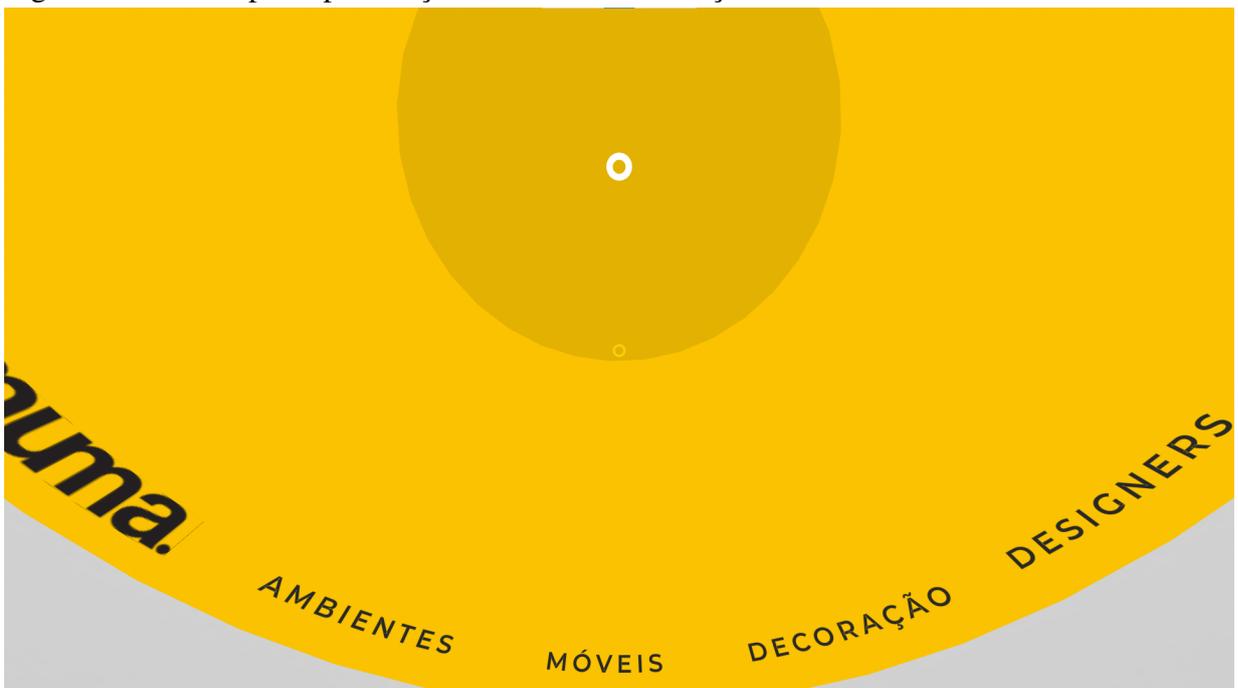
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 30 – Links para filtrar por categoria



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 31 – Menu principal e seção cover sem informação



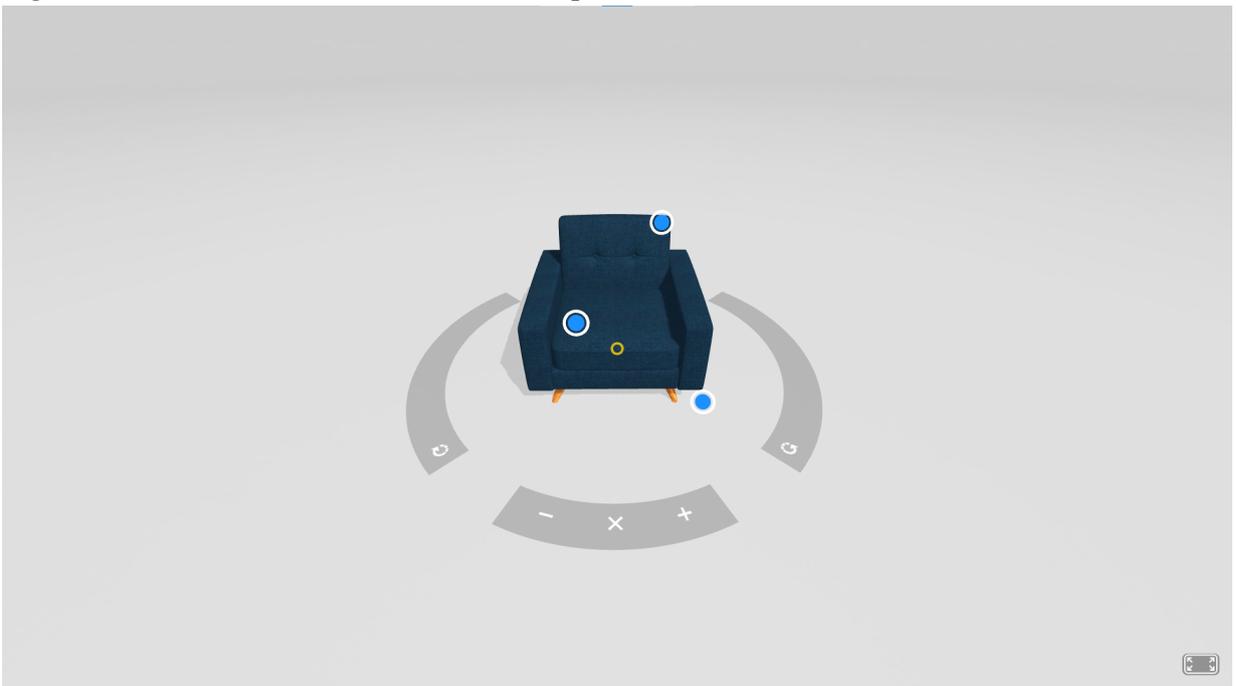
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 32 – Controles de rolagem na tela de listagem



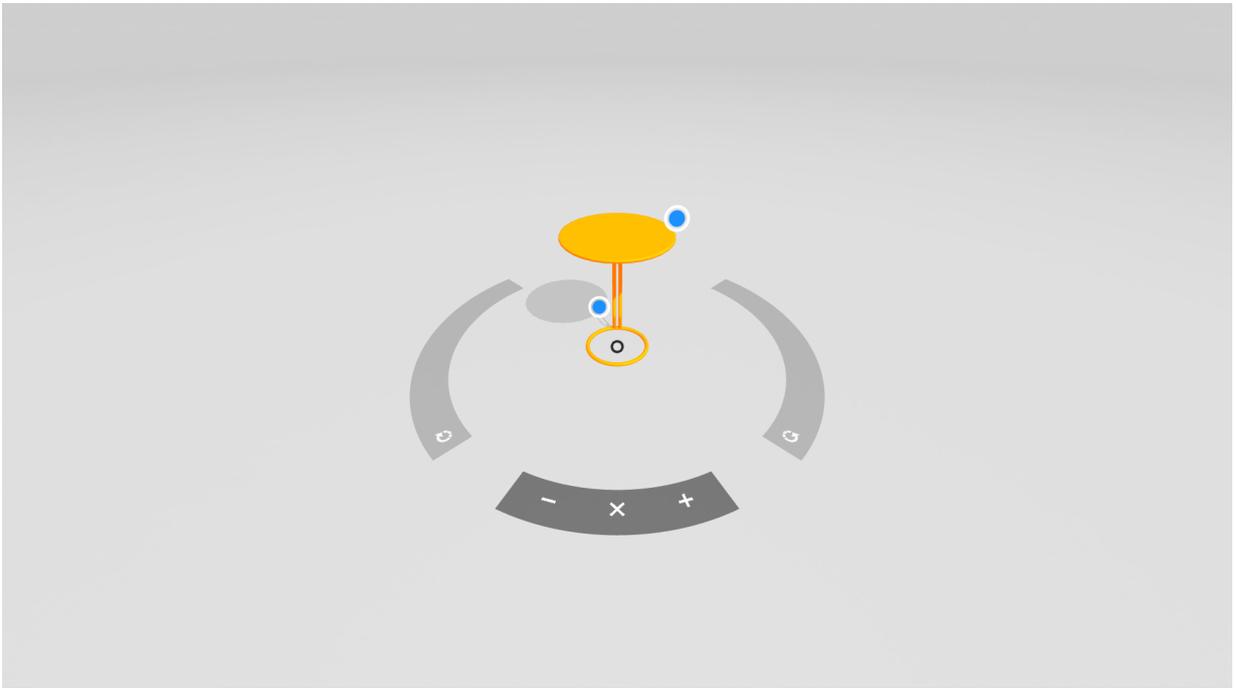
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 33 – Poltrona na área de detalhes do produto



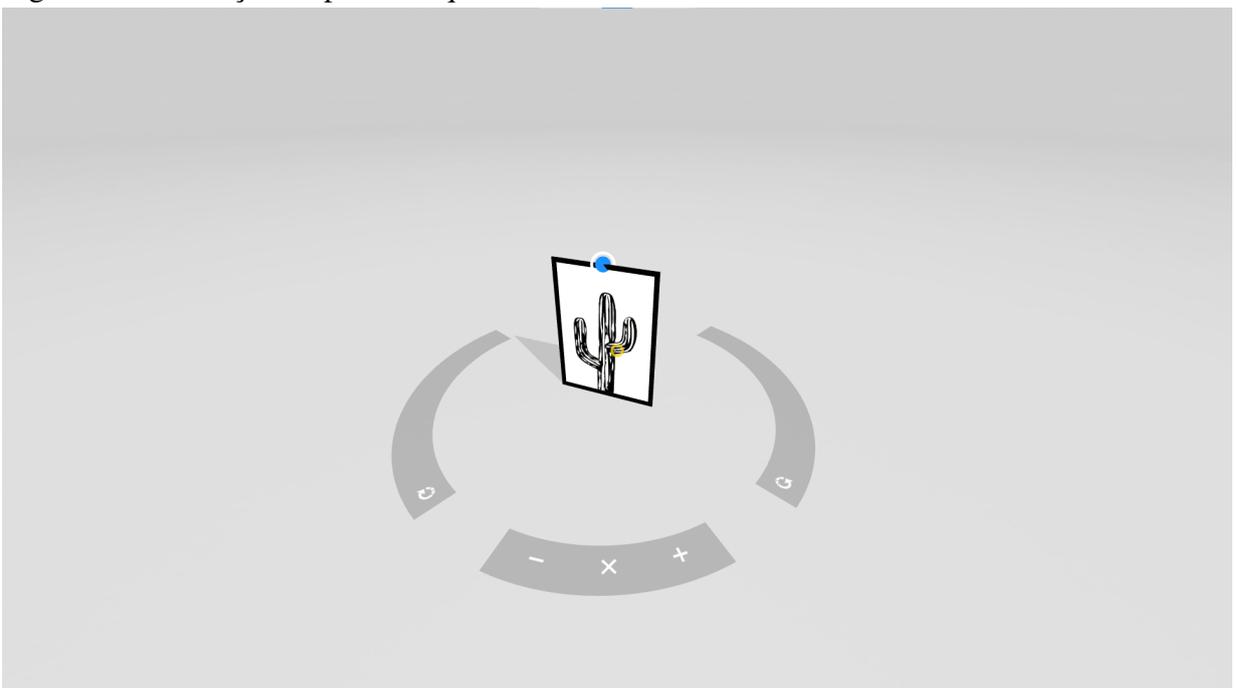
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 34 – Mesa lateral na área de detalhes do produto



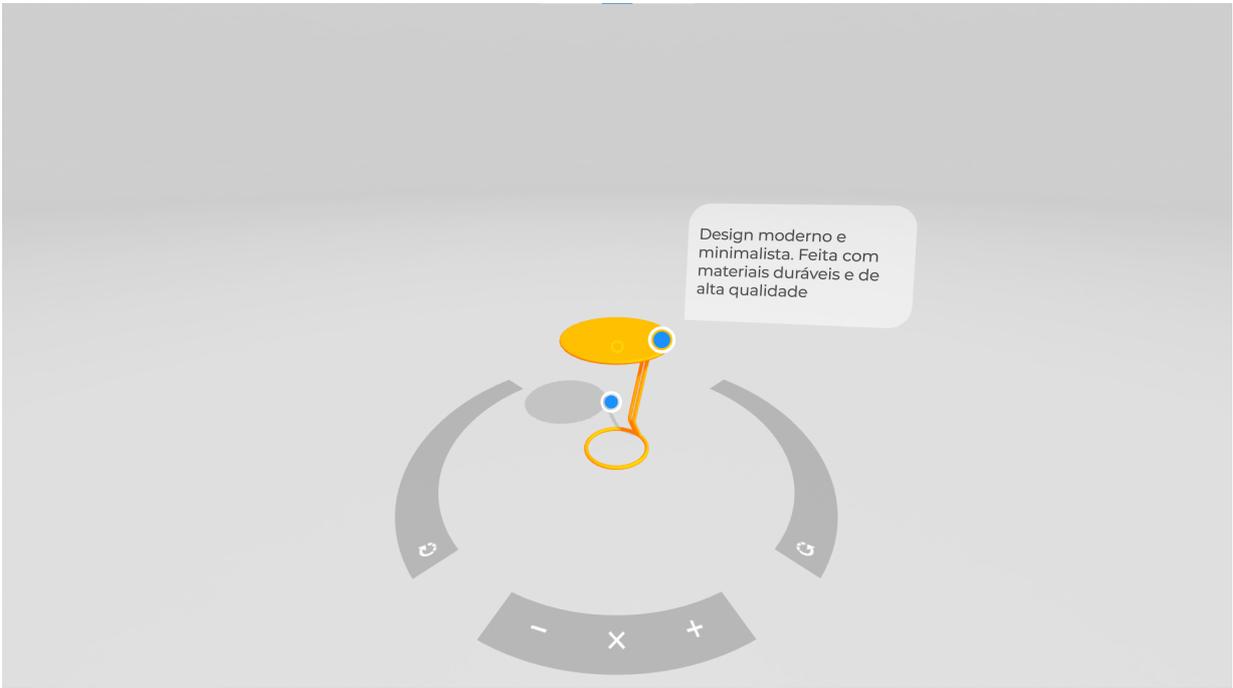
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 35 – Exibição de perfil do quadro Cactus



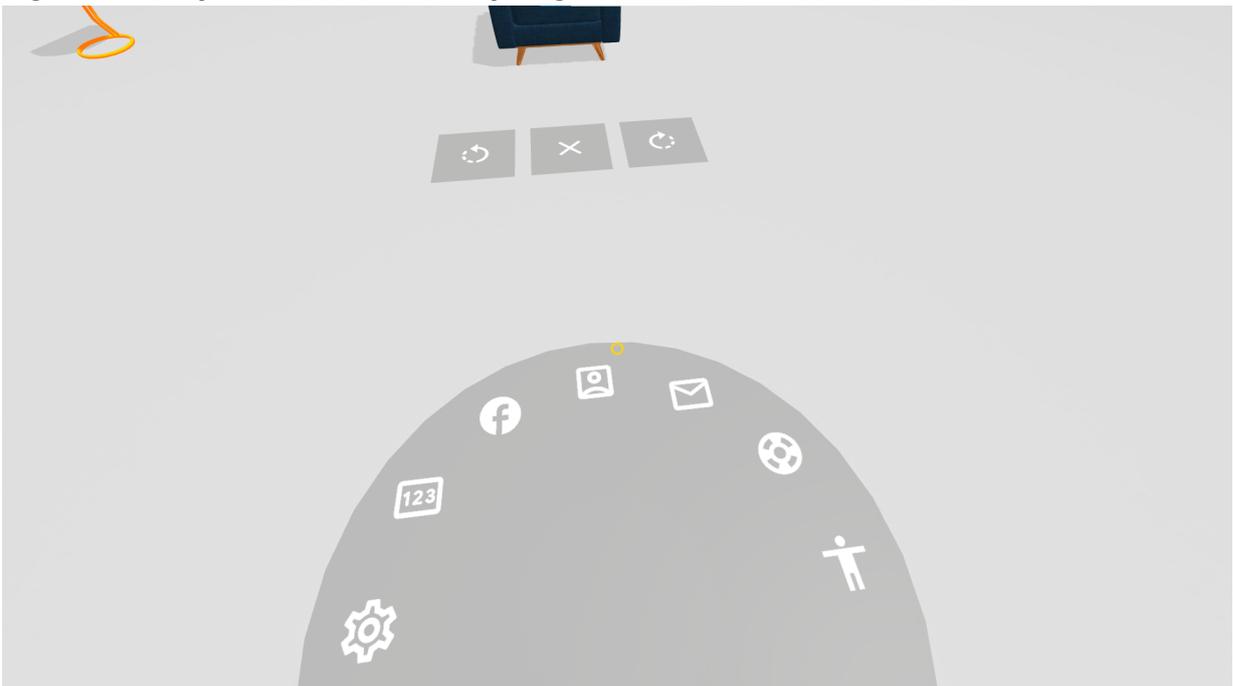
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 36 – Componente dot-info exibindo informações da mesa lateral



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 37 – Seção toolbar, exibindo ações globais



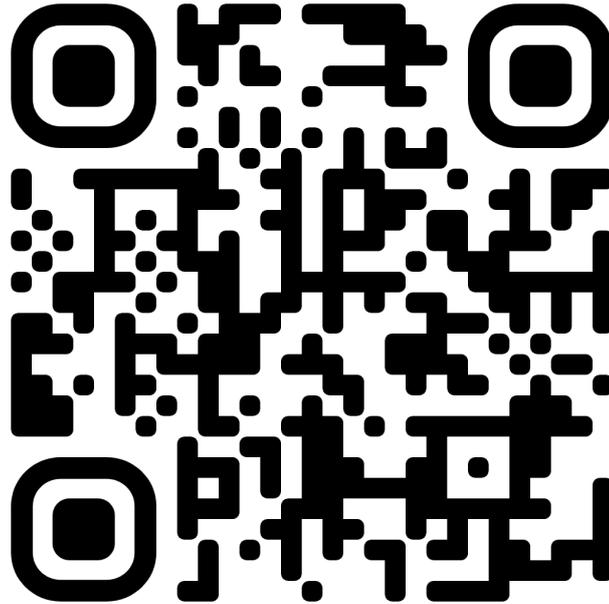
Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE C – APLICAÇÃO

C.1 Github Pages

<https://isaac-pj.github.io/vr-store/>

Figura 38 – QR Code contendo o link para o sistema



Fonte: Elaborado pelo autor.

C.2 Github Repo

<https://github.com/isaac-pj/vr-store>