

ANÁLISE DE USABILIDADE DE UMA INTERFACE EM REALIDADE AUMENTADA E IOT PARA O MONITORAMENTO DE DOCAS

USABILITY ANALYSIS OF AN AUGMENTED REALITY INTERFACE AND IOT INTERFACE FOR DOCK MONITORING

Tiago Vinicius Ficagna¹

Alexandre Amorim dos Reis²

Resumo

O constante avanço tecnológico permite que diversos setores da indústria se modifiquem e atualizem frente às novas demandas de mercado. A Indústria 4.0 traz novos paradigmas, definindo como a indústria deve atuar nesse novo cenário. Deste modo, surge a necessidade de integrar inovações como a Realidade Aumentada (RA) de maneira eficiente e funcional no ambiente industrial. Apesar de seu grande potencial, faltam estudos sobre a construção de interfaces RA simples e eficazes, que se integrem fluentemente às rotinas. Este estudo apresenta uma análise de usabilidade, com base em testes com usuários, de uma interface digital utilizando a RA em um sistema IoT para o monitoramento de docas. Para a realização desta pesquisa, foi aplicado o método do Diamante Duplo para compreender o estado atual dos estudos sobre UX e UI e promover inovação na construção da interface para o setor industrial.

Keywords: Design de Interface, Realidade Aumentada, Usabilidade.

Abstract

The constant technological advancement allows various sectors of industry to adapt and update in response to new market demands. Industry 4.0 brings new paradigms, defining how industry should operate in this new scenario. Thus, there arises the need to integrate innovations such as Augmented Reality (AR) efficiently and functionally in the industrial environment. Despite its great potential, there is a lack of studies on the development of simple and effective AR interfaces that seamlessly integrate into routines. This study presents a usability analysis, based on user testing, of a digital interface using AR in an IoT system for dock monitoring. The Double Diamond method was applied to understand the current state of UX and UI studies and promote innovation in the construction of interfaces for the industrial sector.

Palavras-chave: Interface Design, Augmented Reality, Usability

¹ tiago@univali.br

² alexandre.a.reis@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico e a necessidade de automatizar processos dentro da indústria trouxe o que é chamado de Indústria 4.0. A necessidade de se fazer inovação incentivou os estudos de novas tecnologias que possibilitam a conexão entre sistemas e processos, temos então a adoção de IoT dentro da indústria em geral. Verifica-se que as empresas buscam se adaptar a este novo padrão que se caracteriza como Smart Factory a fim de atender às novas demandas que vieram a surgir (MICLOT et al., 2016). Para que uma fábrica se encaixe dentro deste conceito é necessário que ela possua, implementado em seus processos, as tecnologias da Indústria 4.0, dentre as quais a tecnologia de RA é uma delas.

A tecnologia de Realidade Aumentada (RA) possui um grande potencial para trazer avanços em diversos campos da indústria como redução de custos, aumento da precisão em manutenções e integração entre funções operacionais e as experiências imersivas, proporcionadas pelo uso dessa tecnologia, possuem potencial para aumentar a eficiência de algumas operações. Assim, destacam-se oportunidades como a qualidade dos treinamentos e propósitos de manutenção. Todavia, dificilmente são verificadas soluções que possam ser adotadas em outros campos da atividade produtiva industrial e que possuam validação de usabilidade baseada nos procedimentos de concepção do design de interfaces. A literatura sobre Design de Interfaces indica um cenário de pesquisa amplo no que tange à construção de aplicações de Realidade Aumentada (RA) voltadas para atividades produtivas. Embora o número de estudos relacionados a essa tecnologia tenha aumentado significativamente nos últimos cinco anos, há uma escassez de pesquisas focadas na usabilidade dessas aplicações e na experiência do usuário final no contexto industrial. (MERENDA et al., 2018; SCURATI et al., 2018).

Este artigo apresenta o processo de ideação, construção e análise de uma interface em RA voltada para o monitoramento de docas JIT (*Just in Time*) de uma fábrica de televisores do Polo Industrial de Manaus. E tem como principal objetivo responder o seguinte questionamento: de que forma uma interface em RA pode contribuir para melhorar o processo de planejamento de desembarque de insumos em uma fábrica que adota o recebimento JIT.

A escolha desta fábrica, deve-se ao fato desta investir em pesquisas relacionadas à melhora no processo logístico e da manufatura e por acessibilidade e disponibilidade para testes, sem custos. Assim, foi possível uma aproximação dos trabalhos realizados na universidade com o ambiente produtivo. Outro fator que contribuiu para a escolha desta está relacionado ao processo de gestão de docas, pois a empresa possui docas JIT que são utilizadas com o objetivo de tornar mais rápido e eficiente o processo de recebimento de insumos, com uma dinâmica muito sensível ao tempo, com áreas de abrangência de difícil atuação rápida.

Esta pesquisa é ampliada ao revelar a contribuição do design de interfaces dentro do cenário industrial, como meio de possibilitar uma melhor familiarização com as principais tecnologias que compõem a Indústria 4.0, abrindo espaço para novas pesquisas dentro deste campo. Ademais, o mais valioso é que a tecnologia a ser desenvolvida objetivou a melhoria da operação e a interoperabilidade entre a chegada de insumos e a alimentação da fábrica exatamente na hora da necessidade.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

O referencial teórico desta pesquisa concentra-se em três grandes áreas. A primeira visa discutir a influência da Indústria 4.0 no ambiente industrial local e global. Para isso, foi necessário verificar a sua formação, suas características, seus pontos de impactos e suas projeções para o futuro. Percebeu-se que para analisar seus impactos seria necessário destacar as suas principais ferramentas e seus pilares.

2.1 Indústria 4.0

Com o desenvolvimento da internet, no início do século XXI, sensores cada vez menores e mais potentes, com preços acessíveis, a sofisticação de hardwares e softwares, a capacidade das máquinas em reconhecer padrões e definir ações baseadas em cálculos possibilitou a criação de gigantescas redes de “coisas”, iniciou-se uma transformação na indústria que levaria a uma mudança na sociedade e na economia como a conhecemos (BOUSDEKIS et al., 2019; SCHWAB, 2017).

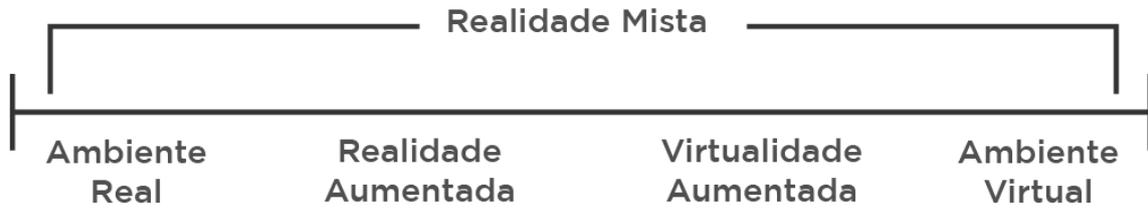
Uma das tecnologias que compõem a transição para a Indústria 4.0 é a RA. Nela há uma miríade de possibilidades em diversos campos de conhecimento, dentre eles a logística na indústria com a digitalização de processos (JETTER et al., 2018; MOURTZIS et al., 2018). Este processo diz respeito ao sistema de produção, em particular à manutenção de sistemas e máquinas com toda a documentação técnica relativa. Nesse contexto, os paradigmas da Indústria 4.0 vêm se tornando o condutor para o desenvolvimento de uma nova geração de instruções técnicas e digitais, principalmente com base nas novas tecnologias de exibição, como a RA e RV que exploram elementos gráficos e visuais, cujo papel se torna primário (SCURATI et al., 2018).

2.2 Realidade Aumentada: Desenvolvimento e Utilização

Visando o melhor alcance dentro do ambiente em que a aplicação RA é projetada, torna-se necessário levar em consideração fatores que norteiam a área do design, como a projeção de interfaces, considerando o processo de ideação e concepção, briefing e prototipagem e o cuidado com a experiência do usuário, obtido a partir de métodos como o Diamante Duplo, ao manipular o software.

Na linha de Continuidade Realidade-Virtualidade, apresentada por Milgram & Kishino (1994) e utilizada para definir características das tecnologias de virtualização, a tecnologia de RA se encontra mais próxima do segmento de ambiente real pois apresenta o conceito de sobreposição de elementos virtuais no ambiente, imergindo parcialmente o usuário e gerando uma virtualização do ambiente (AZUMA, 1993; AZUMA, 1997; AULENTA & LENS, 2011;). Sendo assim, esta tecnologia complementa a realidade, em vez de substituí-la, conforme a Figura 1. O objeto desta pesquisa se concentra no segundo ponto da linha de continuidade Realidade-Virtualidade, pois se trata de uma interface tangível que permite que o usuário sobreponha elementos virtuais em um ambiente real de uma fábrica. Isso o distancia da imersão total promovida pela virtualidade aumentada.

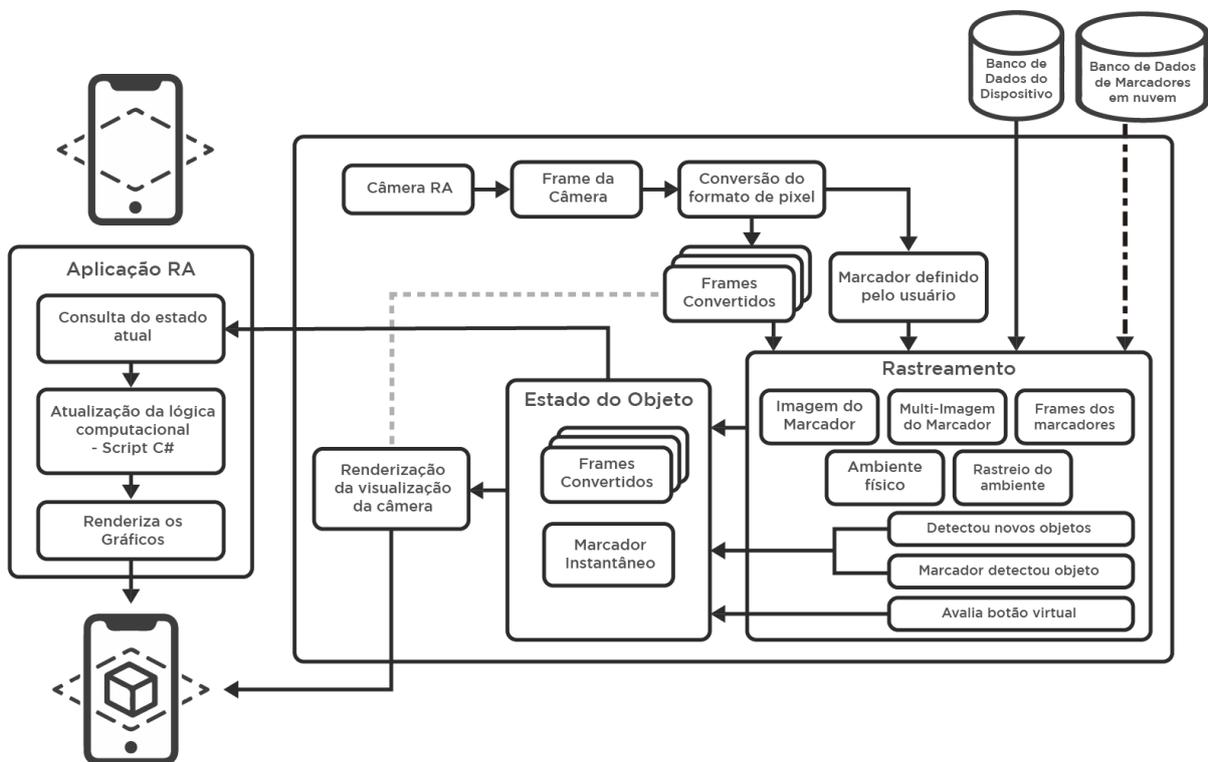
Figura 1 -Linha de Continuidade Realidade-Virtualidade.



Fonte: Milgram & Kishino (1994).

Billinghamurst et al. (2015) representam esquematicamente um sistema de RA, no qual aplicam os requisitos propostos por Azuma, e relacionam três elementos importantes, no entanto, não imprescindíveis para que a RA seja possível em cenários atuais: Computação, Hardware e Computação centrada no homem. Com a melhoria de hardware, os dispositivos móveis (smartphones e tablets) tornaram-se um dos principais recursos utilizados para se trabalhar com a tecnologia RA e possibilitar a aplicação destes elementos (Lin et al., 2016). O esquema proposto está representado pela Figura 2.

Figura 2 - Estrutura de um Sistema de Realidade Aumentada.



Fonte: Billinghamurst et al. (2015).

Quadro 1 - Características de estudos sobre RA na manutenção.

Campo de Aplicação	Mecânica	Manutenção de Infraestrutura	Manutenção de Aeronaves
Operação de Manutenção	Montagem Manutenção Treinamento Monocular	Diagnóstico	Inspeção e Diagnóstico
Hardware	Tablet HMD Mobile	HMD	Câmera HMD
Plataforma de Desenvolvimento	Open GL	n/d	Open GL Rinocheros
Soluções de Tracking	Baseado em Modelos Filtro de Partículas Baseado em Ponto Borda	GPS Reconhecimento de imagem	Sem marcadores Extração de Recursos SIFT SURF
Visualização	Animação	CAD 3D	Conteúdo Digital e Animações
Soluções de Autoria	Automatizado por CAD	Manual	Manual

Fonte: Elaborado a partir de Palmarini et al. (2018).

No processo de desenvolvimento de um sistema RA, o desenvolvedor deve escolher uma ou mais plataformas para utilizar. Ademais, as linguagens de programação de médio ou alto nível têm sido amplamente utilizadas para desenvolver aplicativos RA em processos de manutenção (PATTI et al., 2017; PALMARINI et al., 2018).

Além da linguagem de programação utilizada no desenvolvimento destes sistemas a visualização do elemento 3D deve ser considerada. Diversos softwares são tipicamente adotados para criar elementos tridimensionais e inseri-los dentro do sistema, tais como o Sketchup e o Blender (SURYANTO et al., 2018). Após a produção do objeto 3D é necessário importá-lo para ambientes de desenvolvimento, como Unity 3D, Unreal Engine ou Android Studio, conectando-os com um banco de imagens que serão definidos como Marcadores com o Vuforia SDK (Software Development Kit) adquirido de forma gratuita no site oficial.

Segundo os estudos de Quandt et al. (2018) o desenvolvimento de aplicações RA no cenário industrial deve seguir os seguintes requisitos estruturados pela dimensão de tempo (desenvolvimento e integração, configuração e operação):

Requisitos durante desenvolvimento e integração

- Custo-efetividade:** O retorno deve justificar o gasto aplicado durante a etapa de desenvolvimento da aplicação RA;
- Segurança de Dados:** Caso o registro de dados ou a ação de rastreamento levar a vigilância dos usuários a aplicação RA deve-se estabelecer acordos para a coleta de dados seguindo critérios da segurança da informação (LOPIK et al., 2020);
- Regulamentos aplicáveis:** Regulamentos de segurança do trabalho ou especificações de higiene, devem ser considerados durante o projeto e integração de aplicações RA.

Requisitos durante Configuração

- a) Tempo de configuração: O tempo necessário para a configuração de aplicações de RA no ambiente industrial deve ser mínimo. Isso pode incluir processos recorrentes necessários, como calibração ou limpeza (SURYANTO et al., 2018);
- b) Confiabilidade do sistema: A aplicação deve exigir manutenção mínima e ser o mais confiável possível.
- c) Requisitos durante Operação
- d) Precisão de apresentação: Precisão no alinhamento de objetos reais e virtuais é necessária para reduzir possíveis erros;
- e) Capacidade de tempo real: o rastreamento e a visualização de objetos devem ser realizados em tempo real para permitir uma interação mais intuitiva com o aplicativo e reduzir os riscos de erros ou enjoo;
- f) Ergonomia: os aplicativos de RA geralmente operam no lado humano de uma interface homem-máquina. Seu projeto e operação devem, portanto, ser centrados no ser humano e considerar certos fatores humanos (RE, 2013) como atenção reduzida ou fadiga ocular durante períodos mais longos de operação (ANGELO, 2018).

Com base nos requisitos apresentados é possível identificar estudos e aplicações de sistemas RA que contemplam os pontos apresentados por Quandt et al. (2018) e se concentram no campo industrial. Estes estudos foram levantados por Silva (2020) e podem ser observados no Quadro 2.

Quadro 2 - Características de estudos sobre RA na manutenção.

Campo de Aplicação	Mecânica
WESTERFIELD ET AL. (2015)	Realizam uma investigação sobre a combinação da Realidade Aumentada (RA) com Sistemas de Tutoria Inteligente (ITS) para auxiliar no treinamento de tarefas de montagem manual. Abordagem que combina gráficos AR com orientação adaptativa do ITS para proporcionar uma melhor eficácia de experiência de aprendizado.
JEON ET AL. (2016)	Descreve o desenvolvimento de uma aplicação RA intitulada MARB. Essa aplicação permite ao usuário conectar facilmente um marcador e um objeto virtual com vários eventos de interação utilizados para manipular o objeto virtual em um ambiente móvel.
ERKOYUNCU ET AL. (2017)	Retrata uma nova abordagem para melhorar a eficiência da manutenção por meio de suporte operacional adaptativo usando uma técnica de RA que aplica dados disponíveis e o nível de habilidade dos técnicos sem a necessidade de conhecimento prévio sobre RA para gerar soluções autorais para não programadores dentro do processo de manutenção.
GOMES ET AL. (2017)	Apresenta uma metodologia para o desenvolvimento de aplicações RA em cenários industriais. A proposta apresenta o uso de referências georeferenciadas com marcadores naturais detectados em tempo real, o que permite a construção de sistemas de AR que podem ajudar na manutenção no local e nas atividades para os operadores, possibilitando incluir informações sobre o equipamento durante um procedimento específico.
CACHADA ET AL. (2018)	Descreve a arquitetura de manutenção preditiva e inteligente, alinhado aos princípios da Indústria 4.0, que considera análise avançada e on-line dos dados coletados para a detecção precoce da ocorrência de possíveis falhas de máquinas e apoia os técnicos durante as intervenções de manutenção, fornecendo um suporte de decisão inteligente guiado.
FRIZZIERO et al. (2019)	Apresenta uma abordagem para apoiar a concepção e implementação de sistemas interativos e RA, propondo a combinação de técnicas RA baseadas em modelo para desenvolver interações mais realistas no ambiente, como colisões e interações com sombras, gerando uma experiência mais realista da aplicação.

Fonte: Elaborado a partir de Palmarini et al. (2018).

Levando em consideração os pontos apresentados neste tópico e a busca por aplicações eficientes e que atendam aos requisitos de aplicabilidade na indústria, observa-se a necessidade de aplicar critérios referentes à usabilidade durante todo o processo de desenvolvimento de aplicações RA. Critérios estes que contemplam, inclusive, etapas posteriores como configuração e operação. Boquimpani & Figueira (2017) apresentam um processo de Engenharia de Usabilidade inserido em um modelo misto de cascata e ciclos a fim de simplificar o desenvolvimento de aplicações RA considerando os critérios de usabilidade em todo o processo. Este processo foi adaptado e aplicado durante toda a etapa de desenvolvimento da solução, proposta neste estudo, como forma de garantir a entrega e elevar a taxa de aceitação dos usuários do sistema e a implementação no cenário industrial.

Neste estudo as ferramentas definidas foram: engine Unity 3D como plataforma para criação da interface e desenvolvimento do sistema RA; software Blender para criação dos elementos visuais da interface e modelos tridimensionais presentes no sistema RA. Além destas ferramentas, o uso do Vuforia SDK foi necessário para implementar as ferramentas da engine Unity e possibilitar a visualização de objetos em RA por meio da câmera de smartphones. Por fim, o microcontrolador Arduino UNO foi utilizado para construção dos circuitos elétricos e do sistema de sensores que se conectaram ao sistema RA.

2.3 Usabilidade e o Design de Interface

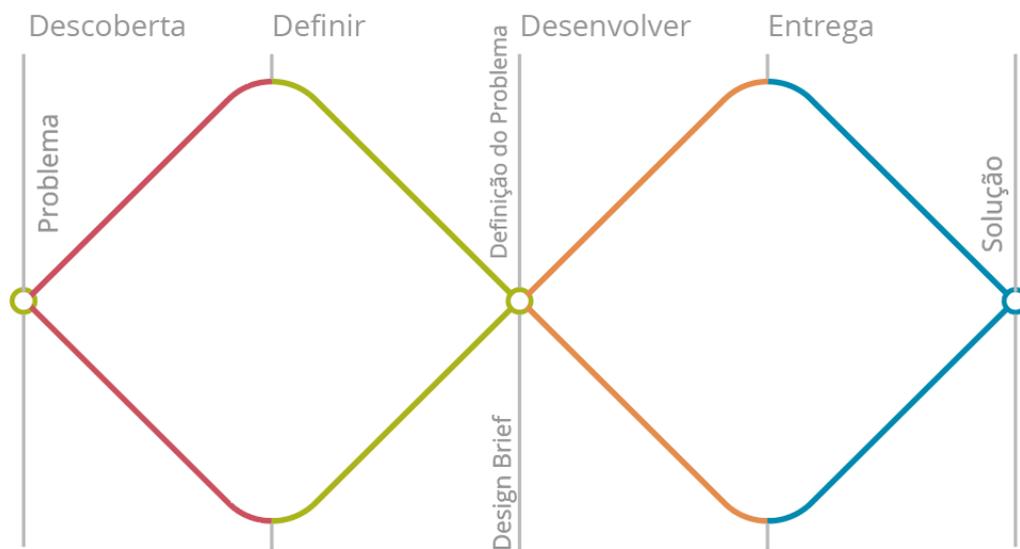
Quando se trata da construção de interfaces em RA é necessário colocar em evidência o usuário e considerar fatores como familiarização com a tecnologia, manuseio de dispositivos, capacidade visual etc. Ademais, é necessário buscar a redução do número de informações presentes nas telas de determinadas aplicações. Os designers podem explorar tanto a visualização espacial quanto direcional para a construção das interfaces, mas devem considerar em quais situações a sua inclusão é adequada e segura (SEO et al., 2016; MERENDA et al., 2018; GABBARD et al., 2002).

Quintão & Triska (2013) afirmam que o constante desenvolvimento tecnológico e a consequente possibilidade de utilização da imagem em movimento na web e em dispositivos móveis, colaboraram para que a visualização de dados se tornasse ainda mais complexa, sendo necessário uma abordagem metodológica que organize, simplifique e complemente as ideias para o usuário. Desta forma, Frascara (2011) apresenta o design de informação como uma solução para esta lacuna, pois este se desenvolve em duas etapas: a organização da informação e o planejamento de sua apresentação. Pode-se afirmar que um design de informação adequado torna a ideia acessível, disponível de maneira simples, apropriada ao conteúdo e ao usuário, confiável, completa, concisa e relevante de acordo com os seus objetivos, uma vez que a informação é um conjunto de fatos organizados de tal forma que adquirem valor adicional além dos valores do fato em si.

No campo da usabilidade, encontra-se um caminho próximo entre a construção de interfaces e a sua adoção. A usabilidade, segundo Barroso et al. (2021), é a combinação entre interface, usuário, tarefa e ambiente, pois é por ela que se torna possível reconhecer a qualidade de uso dos sistemas e as suas aplicações. Desta forma, a usabilidade busca uma mediação entre as características da interface de um sistema e as características de seus usuários ao tentarem alcançar determinados objetivos em situações específicas de uso (CATAPAN et al., 1999; LIOU et al., 2017; BARROSO et al., 2021).

Num cenário com uma indústria altamente competitiva, um produto de software necessita se destacar perante os similares, trazendo satisfação aos usuários com características novas e úteis. Neste contexto, o Design Thinking (DT) se apresenta como um conjunto de práticas inspiradas no design para resolução e desenvolvimento de problemas, utilizando a empatia, a criatividade e a racionalidade para atender às necessidades dos usuários e concretizar os objetivos (BROWN, 2020). Dentro da área do Design a pesquisa utiliza o modelo do Duplo Diamante, Figura 4, que consiste em uma forma simplificada de apresentar o processo de design. Segundo Gustafsson (2019), o método consiste em quatro fases, começando com uma ideia inicial e finalizando com a entrega de um produto ou serviço. Embora a forma de diamante duplo deva ser genérica em todos os projetos, ela possibilita alterações para que este possa se adequar às necessidades e características de cada projeto, estes podem ser o objetivo do projeto, como um produto ou serviço. Cada fase do diamante incorpora loops interativos nos quais a exploração e o teste podem ocorrer (COUNCIL, 2007). As quatro fases do processo de design do Duplo Diamante são: Descobrir, Definir, Desenvolver e Entregar. A utilização do modelo de Diamante Duplo foi responsável por guiar e moldar as etapas deste estudo em relação à construção da solução proposta, além de proporcionar uma abordagem quali-quantitativa por apresentar dados quantitativos, em sua última etapa, relacionados à eficácia e eficiência do produto e dados qualitativos direcionados a satisfação do usuário ao produto.

Figura 4 - Modelo Diamante Duplo.



Fonte: Design Council (2017).

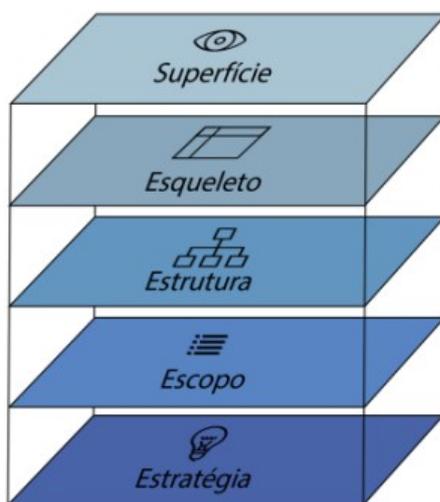
Apesar de existirem diversas definições para DT, todas elas compartilham a mesma filosofia que abrange o pensamento criativo, o conhecimento contextual e os cenários na aplicação de uma possível solução. Para isto, diversas técnicas são utilizadas como: (a) Pesquisa de Campo inicial visa a compreensão do contexto, auxiliando na construção dos perfis. Objetivam o entendimento geral do contexto e suas tendências (VIANNA et al., 2012). (b) Pesquisa Desk busca fazer o levantamento em diversas fontes sobre o projeto e

suas tendências. Consiste na reunião de informações em diversas fontes como internet, jornais, TV, livros e outros (VIANNA et al., 2012). (c) Matriz CSD organiza uma matriz por meio de respostas a três questionamentos fundamentais: suas certezas, suas suposições e suas dúvidas (BRETAS, 2015). (d) Persona consiste na elaboração de uma pessoa fictícia que sintetiza os comportamentos, representando as motivações, desejos, expectativas e necessidades (COOPER, 2003). (e) Mapa de empatia representa a forma visual de organizar as ideias e analisar o que foi coletado durante as entrevistas. Nesta técnica é importante compreender o que a persona analisada diz, faz, pensa e sente (BRENNER & UEBERNICKEI, 2016). (f) Jornada do usuário descreve os passos ocorridos antes, durante e depois de determinada atividade a ser analisada (KALBACH, 2020). (g) Sketch apresenta ideias no papel. O desenho pode transmitir uma ideia do design rapidamente, podendo ser utilizado em todo o processo de design (AMBROSE et al., 2019). (h) Protótipo permite a visualização e a comunicação das ideias.

2.4 Interfaces de usuário voltadas para informação RA

Direcionando para o desenvolvimento do produto é necessário buscar autores que definem diretrizes para o desenvolvimento de interfaces e considerem o design da informação e o design visual. Segundo Garrett (2010) a experiência do usuário tem influência sobre a percepção do produto final, podendo gerar um diferencial competitivo em relação aos concorrentes. A responsabilidade de assegurar a qualidade da experiência do usuário não se limita a um especialista de usabilidade, todas as etapas do processo devem convergir para este fim. Dessa forma, o autor projetou um framework, Figura 5, relativo ao design dos elementos da experiência do usuário, estruturado nos seguintes planos: estratégia, escopo, estrutura, esqueleto e superfície. O projeto sensorial e a apresentação dos arranjos lógicos que compõem o esqueleto do produto estão inseridos na camada de superfície. Essa camada é composta por conteúdo, funcionalidade e estética, as quais estão unidas para produzir um design acabado que agrada os sentidos sensoriais enquanto cumpre todos os objetivos dos outros planos.

Figura 5 - Planos do Framework de Garret.



Superfície primeiros aspectos percebidos pelos usuários (design sensorial). União do conteúdo, funcionalidade e estética.

Esqueleto desenho estrutural das telas, dos menus e formulários. Concretiza a estrutura e busca otimizar o arranjo dos elementos.

Estrutura organização das informações por meio de organograma ou fluxograma. Busca dar formas ao escopo.

Escopo definição das características e dos conteúdos do produto. Transforma a estratégia em requisitos.

Estratégia envolve entender as necessidades do usuário (influência externa) e os objetivos do produto (influência interna).

Fonte: Garret (2010).

Em relação a construção de interfaces e estudos de usabilidade em sistemas RA temos questões mais complexas devido à falta de estudos e modelos eficazes para construção de interfaces com esta tecnologia. Merenda et al. (2018), apontam que os principais fatores que tornam complexo o uso de RA na construção de interfaces diz respeito a fatores externos e de hardware como baixa resolução, baixos níveis de iluminação e um campo de visão limitado. Deste modo, é necessário um nível de descrição dos projetistas de interfaces RA a fim de fornecer informações de forma simples e eficaz dentro das condições em que o usuário se encontra.

Conforme exemplificam Mourtzis et al. (2018) grande parte dos estudos sobre Interface Homem Computador (IHC) recaem sobre interfaces gráficas dos computadores desktop. Entretanto, a RA é uma variação de interface, que pode misturar elementos físicos e digitais e, caracteriza-se como interface tangível. Deste modo, a interação humana com elementos desta natureza não pode ser tratada da mesma maneira tradicional das diretrizes e modelos IHC traçados para interfaces gráficas (GUI) (PREECE & MALONEY, 2005; WU et al., 2016).

Desta forma, Rogers et al. (2013) trazem o design de interface como recurso apropriado para se desenvolver sistemas RA, pois nesta etapa de desenvolvimento de software, são consideradas as experiências de interação e o comportamento que possibilitam a troca de informações entre entidades (pessoas, máquinas e sistemas) e de diversas maneiras. O design de interação está relacionado a projetar para as experiências de troca, com foco nas atitudes dos usuários.

Com o objetivo de compreender este universo, referente à construção de interfaces tangíveis, estudos sobre Usabilidade em sistemas RA e suas aplicações, foi feito um levantamento bibliográfico sobre o estado da arte referente à criação de interfaces utilizando a tecnologia de RA, buscando identificar parâmetros como: tecnologia, abordagem e tipologia das publicações selecionadas.

Para alcançar o objetivo deste levantamento, foi utilizada a metodologia de investigação baseada em revisão sistemática, estruturada e executada por meio da realização de consultas seguindo parâmetros de busca em quatro bases de dados, acessadas por meio do banco de periódicos CAPES. A Revisão Sistemática desenvolvida neste estudo foi desenhada seguindo estas etapas: planejamento da pesquisa, análise e execução.

Após a execução da revisão bibliográfica, quarenta artigos foram selecionados e obtivemos os seguintes achados: Em relação ao foco em experiência do usuário, os estudos de Zhang et al. (2017); Zhou (2018), Yin et al. (2019) apresentam aspectos e características de interfaces que utilizam a RA como tecnologia base. O processo de reconhecimento de imagens, essencial para a projeção de objetos 3D em marcadores foi verificado nestes estudos e apresentaram resultados satisfatórios em relação ao uso da tecnologia em aplicações mobile.

Os trabalhos direcionados à Indústria concentram-se em pesquisas sobre o uso de RA como ferramenta para aumentar o engajamento de usuários em relação a produtos (SCHOLZ & SMITH, 2016). O estudo de Paulo et al. (2018) aborda critérios que podem influenciar a aceitação de ferramentas RA pelos usuários concentrando-se em aspectos como: manipulação e tempo de resposta. Nanjappan et al. (2019), após estudar o uso de interações gestuais com tecnologia de RA identificou que seus usuários preferiam uma interação por meio de botões virtuais visíveis por meio de RA do que botões presentes na interface, pois dificultaria a visibilidade dos objetos presentes na tela do dispositivo.

Segundo Siriborvornratanakul (2018), os usuários necessitam distribuir sua atenção entre o real e uma interface virtual. Deste modo, é preciso idealizar e projetar interfaces que simplifiquem o foco do usuário e proporcione um melhor engajamento com o software proposto, além de possibilitar diferentes alternativas de interação com os objetos tridimensionais projetados na tela. Por fim, em relação ao uso de aplicações em RA voltados para a educação, os artigos com esse foco representam 35% dentre os estudos selecionados. Estudos que apresentam dispositivos RA para o processo de ensino-aprendizagem Inteligente (KETTERL et al., 2010), aprendizado de linguagens (YANG & MEI, 2018) e inserção de novas tecnologias no ensino superior (SURAL, 2018).

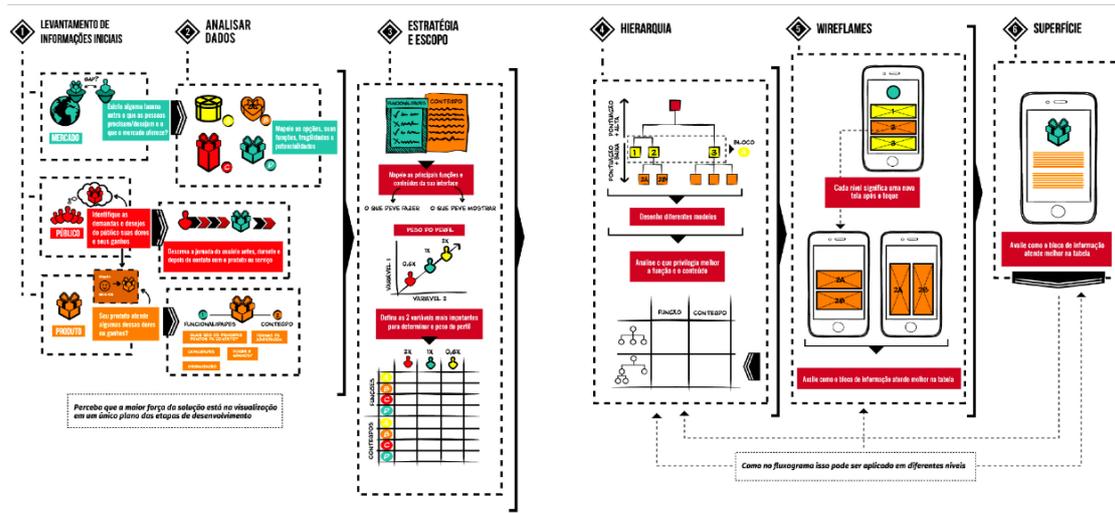
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para este estudo, o procedimento metodológico ocorreu em quatro etapas seguindo a estrutura do Diamante Duplo, apresentado anteriormente. A etapa 1 contempla a primeira fase do primeiro diamante: descoberta. Para identificar o estado da arte relacionado às soluções já existentes com a tecnologia RA e das necessidades de aplicação desta tecnologia dentro do cenário industrial foi realizada uma busca em bases de dados nacionais e internacionais, para uma visão global das aplicações. Os resultados deste levantamento retornaram um cenário aberto para exploração de soluções de interfaces em RA, principalmente no que se diz à aplicação da tecnologia em diversos campos do processo industrial e principalmente com foco no usuário.

A etapa 2 é referente à fase de convergência do primeiro diamante: definir. Neste momento a definição do tipo de usuário ao qual a solução será direcionada. Esta etapa foi realizada por meio da criação de personas, baseadas em pessoas reais, jornada do usuário e blueprint de serviço. A etapa 3 abrangeu a etapa de divergência do segundo diamante, desenvolver, que instiga a ideação de soluções que atendam de forma objetiva as necessidades do usuário/persona. Neste momento a construção da primeira proposta de interface em RA foi desenvolvida considerando todos os requisitos e premissas definidos na etapa 02 do método. A última etapa, entrega, foi alcançada com a construção de um protótipo em alta fidelidade da solução, utilizando a aplicação RA e o sistema Arduino UNO. Nesta etapa também foi feita a coleta dos dados da aplicação com o usuário final com o objetivo de captar feedbacks e possíveis melhorias.

Alinhadas às etapas do Diamante Duplo, as ferramentas que foram utilizadas durante cada etapa do processo foram definidas com base no fluxograma idealizado por Teixeira (2020) que tem como objetivo: conectar etapas do desenvolvimento de projetos de interfaces, determinando a relação e a importância de cada informação na tomada de decisão, desde o levantamento de informações iniciais até a avaliação da interface em diferentes planos de projeto. Este fluxograma, Figura 6, alinha-se a proposta de Garrett (2010), que possui como método o auxílio na idealização da experiência do usuário por meio de cinco planos. Essa idealização começa na parte estratégica e vai se moldando para algo concreto (interface). Os cinco planos são denominados: estratégico, escopo, estrutural, esqueleto e superfície.

Figura 6 - Fluxograma para interfaces Digitais.



Fonte: Teixeira (2020).

Fundamentado na metodologia empregada na pesquisa de Zhang et al. (2019), um Estudo de Caso foi realizado, utilizando como objeto de estudo, uma fábrica de TVs e eletrodomésticos, localizada no Polo Industrial de Manaus (PIM). Segundo Pádua (2019), esta técnica é considerada como um tipo de análise qualitativa e pode complementar a coleta de dados em um trabalho científico, ou constituir, em si, um trabalho monográfico. Para esta pesquisa foi realizada a observação e reconhecimento do ambiente onde a solução foi idealizada para atuar, as docas de entrada e saídas de insumos JIT (Just in Time). O JIT pode ser caracterizado por reduzir continuamente e eliminar processos de inventário na fabricação (ALVES, 1995).

A análise de dados foi fragmentada em duas etapas, sendo a primeira direcionada a compreender os resultados do processo de gestão das docas JIT e, posteriormente, o resultado dos testes com a interface da aplicação RA, com foco na usabilidade. Contudo, quanto aos dados que caracterizam os respondentes, realizou-se a análise descritiva para ambos os instrumentos de coleta, com embasamento na estatística descritiva.

Nesta etapa, direcionada à aplicação mobile, a fim de validar seu uso, foram aplicados três métricas descritas por Mifsud (2020) a respeito da usabilidade de sistemas. O autor define métrica como um “sistema padrão de medição” representado em unidades que pode ser utilizado para descrever mais de um atributo. As métricas são muito úteis quando se trata de quantificar a usabilidade durante avaliação de softwares, sites e aplicativos.

Segundo a norma ISO 9241-11 (1998) usabilidade é definida como “a extensão em que um produto pode ser usado por usuários específicos para atingir objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto de uso específico”.

A ISO / IEC 9126-4 (2004) recomenda que as métricas de usabilidade devem incluir:

- Eficácia: A precisão e integridade com que os usuários atingem os objetivos especificados.
- Eficiência: Os recursos gastos em relação à precisão e integridade com que os usuários atingem os objetivos.
- Satisfação: O conforto e a aceitabilidade de uso.

As fórmulas a seguir, que abordam eficácia e eficiência, foram extraídas de Sauro (2011). Para avaliar a satisfação, o autor recomenda o uso do teste SEQ (Single Ease Question). A eficácia foi calculada medindo a taxa de conclusão. Referida como a métrica de usabilidade fundamental, a taxa de conclusão é calculada atribuindo um valor binário de '1' se o participante do teste consegue completar uma tarefa e '0' se ele / ela não consegue. Sendo necessário obter um índice próximo a 100% para assegurar a eficácia do produto. Devido à sua simplicidade, a taxa de conclusão é uma métrica muito fácil de entender, por isso é muito popular. Além disso, pode ser coletado em qualquer estágio de desenvolvimento. A eficácia pode, portanto, ser representada como uma porcentagem usando esta equação:

$$\text{Effectiveness} = \frac{\text{Number of tasks completed successfully}}{\text{Total number of tasks undertaken}} \times 100\%$$

Em relação a Eficiência, a mesma foi medida em termos de tempo de tarefa, ou seja, o tempo (em segundos e ou minutos) que o participante levará para concluir uma tarefa com êxito. O tempo necessário para concluir uma tarefa pode então ser calculado simplesmente subtraindo a hora de início da hora de término, conforme mostrado na equação abaixo:

Tempo da tarefa = Hora de término – Hora de início

Então, a eficiência da tarefa pode ser calculada com a seguinte equação:

$$\text{Time Based Efficiency} = \frac{\sum_{j=1}^R \cdot \sum_{i=1}^N \frac{n_{ij}}{t_{ij}}}{NR}$$

Onde:

N = O número total de tarefas (objetivos);

R = O número de usuários;

n_{ij} = O resultado da tarefa i pelo usuário j ;

t_{ij} = O tempo gasto pelo usuário j para concluir a tarefa i . Se a tarefa não for concluída, então o tempo é medido até o momento em que o usuário sai da tarefa. Nesta etapa é recomendado que a solução alcance um índice de eficiência

acima de 70% pois o tempo de execução da tarefa é relativo ao modo de interação do usuário com a solução.

Por fim, a satisfação do usuário foi avaliada por questionários de satisfação padronizados que foram aplicados após cada tarefa. Para este estudo o teste SEQ (Single Ease Question) foi escolhido, por permitir de forma simples identificar nuances no nível de dificuldade apresentado em determinada tarefa (SAURO, 2011) de acordo com a escala Likert.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após o levantamento bibliográfico e definição da metodologia, foram iniciadas as etapas do diamante duplo para a construção do sistema IoT e da sua interface partindo da análise do ambiente da fábrica de televisores. Em seguida, um protótipo de baixa fidelidade foi construído no microcontrolador Arduino para teste de desempenho do sistema RA com a finalidade de identificar pontos de melhoria e otimização da aplicação e prevê possíveis falhas na construção da interface deste estudo.

4.1 Primeira Etapa: Descoberta

Além da realização da revisão sistemática da literatura outra ferramenta aplicada nesta primeira etapa foi a entrevista semiestruturada, que segundo Pádua (2019), possui como principal vantagem a chance de maior proximidade e de maior interação entre o entrevistador e a pessoa entrevistada. Dessa forma, abrindo novas possibilidades de aprofundamento em assuntos mais complexos, referente aos significados pessoais do entrevistado. O objetivo dessa primeira atividade foi compreender, de forma geral, o processo de monitoramento dos pátios e como cada funcionário afetava essa atividade. Foram entrevistados três funcionários: Usuário (a), responsável pelo planejamento de chegada dos containers; Usuário (b), responsável pela organização e controle geral da fábrica; Usuário (c), responsável pela coordenação da equipe de planejamento. As ferramentas utilizadas no desenvolvimento deste produto foram embasadas no material *The Field Guide to Human-centered Design: Design Kit* (IDEO, 2015) e no Fluxograma de Teixeira (2017).

Para compreender o cenário atual e os seus processos em relação ao objetivo dos stakeholders, foi realizada a dinâmica intitulada Matriz CSD (Bretas, 2015), Figura 7, ferramenta de UX que consiste no levantamento de Certezas, Suposições e Dúvidas acerca da problemática em questão.

Figura 6 - Fluxograma para interfaces Digitais.



Fonte: Teixeira (2020).

Partindo dos pontos expostos na Matriz CSD ficou evidente o questionamento a respeito da utilização da Realidade Aumentada como tecnologia em evidência neste produto, assim como, as incertezas a respeito de como aplicá-la em um produto que seja simples, prático e de fácil aprendizagem pelo usuário. Contrapondo as dúvidas, as certezas e suposições se concentram nos benefícios da aplicação de um produto simples para o monitoramento de pátios na fábrica, assim como seu custo em relação ao mercado.

4.2 Segunda Etapa: Definir

Após a coleta dos dados e imersão no contexto do estudo, que se deu por meio de pesquisa Desk, revisão sistemática da literatura e entrevista, passou-se para a segunda etapa do Diamante Duplo, denominada "Definição". Para esta fase, foram utilizadas as ferramentas: Personas, Mapa de Empatia, Mapa da Proposta de Valor e o Blueprint de Serviço com Jornada do Usuário.

Segundo Adlin et al. (2006), as personas são ficcionais, específicas e representações concretas dos usuários-alvo. É importante ressaltar que elas não são inventadas, e sim embasadas em pesquisa. Para este estudo foram idealizadas duas personas, sendo uma ideal e uma média, desenvolvidas com base nas entrevistas e na observação do cenário. A persona ideal é aquele usuário imprescindível, já a persona média compartilha algumas necessidades da ideal, mas possuem necessidades adicionais.

Partindo da compreensão do processo da fábrica, da hierarquia e da divisão de funções, foi criada a persona ideal, Figura 8, chamado Guilherme Almeida, 26 anos e solteiro.

Dentre suas principais funções na fábrica, ele é o responsável por planejar os horários de chegada dos caminhões na fábrica e apresentar soluções para possíveis problemas de atrasos. Buscando compreender, de forma mais profunda, o público para qual a solução foi desenvolvida o mapa de empatia foi construído.

Figura 8 - Persona Ideal e Mapa de Empatia.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Neste ponto, a segunda etapa do Fluxograma para Interfaces Digitais foi alcançada, sendo necessário mapear as oportunidades, as fragilidades e as potencialidades de mercado. As ferramentas utilizadas foram duas: Mapa da proposta de valor e Jornada do Usuário.

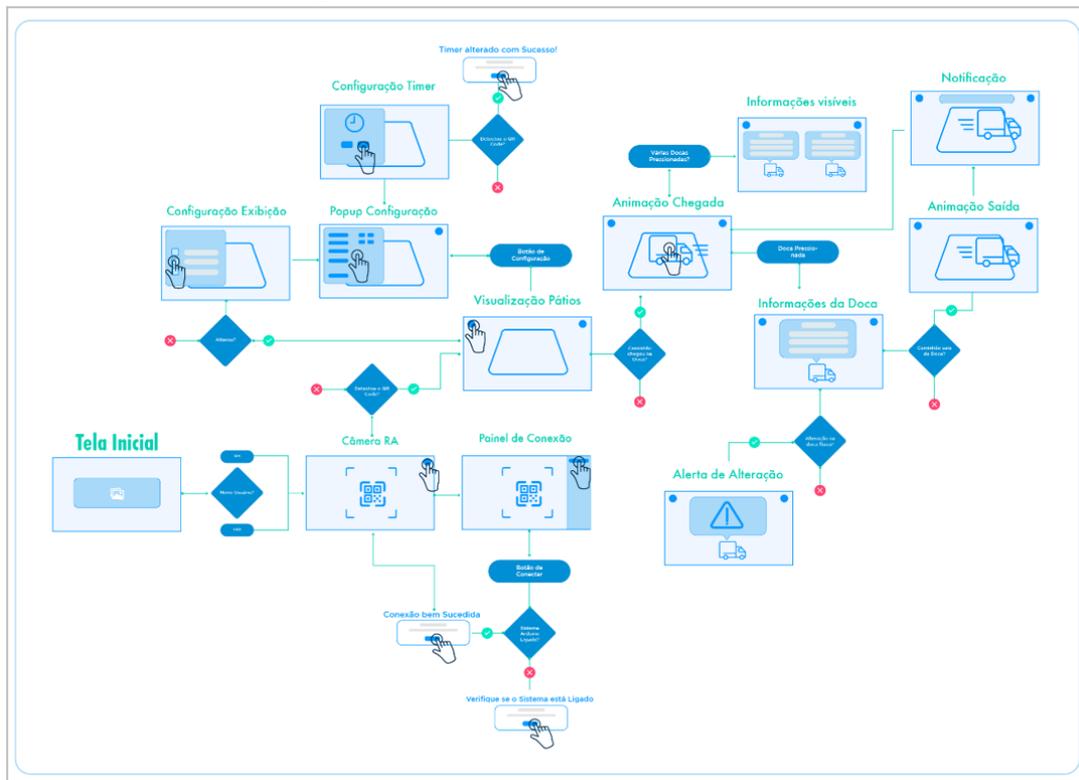
Após a construção deste mapa foi possível destacar requisitos essenciais para a hierarquia de funções do MVP (Mínimo Valor do Produto) e estabelecer a conexão entre as funções do produto com as necessidades do usuário. Dentre os requisitos encontrados é possível destacar: Mobilidade, eficiência, controle visual e automação.

4.3 Terceira Etapa: Desenvolver

Alcançando o terceiro campo do Diamante Duplo, Desenvolvimento, foi necessário realizar a definição do escopo que o MVP iria apresentar. Para isso, seguimos paralelamente para a terceira etapa do Fluxograma para Interfaces Digitais, Estratégia e Escopo. É nessa etapa no qual são definidas as variáveis e calculados os pesos das Personas que serão impactadas na solução e assim definir o escopo do protótipo da solução. As personas são fundamentais para definir o peso da interface visual da solução, principalmente no ponto de vista de função e conteúdo.

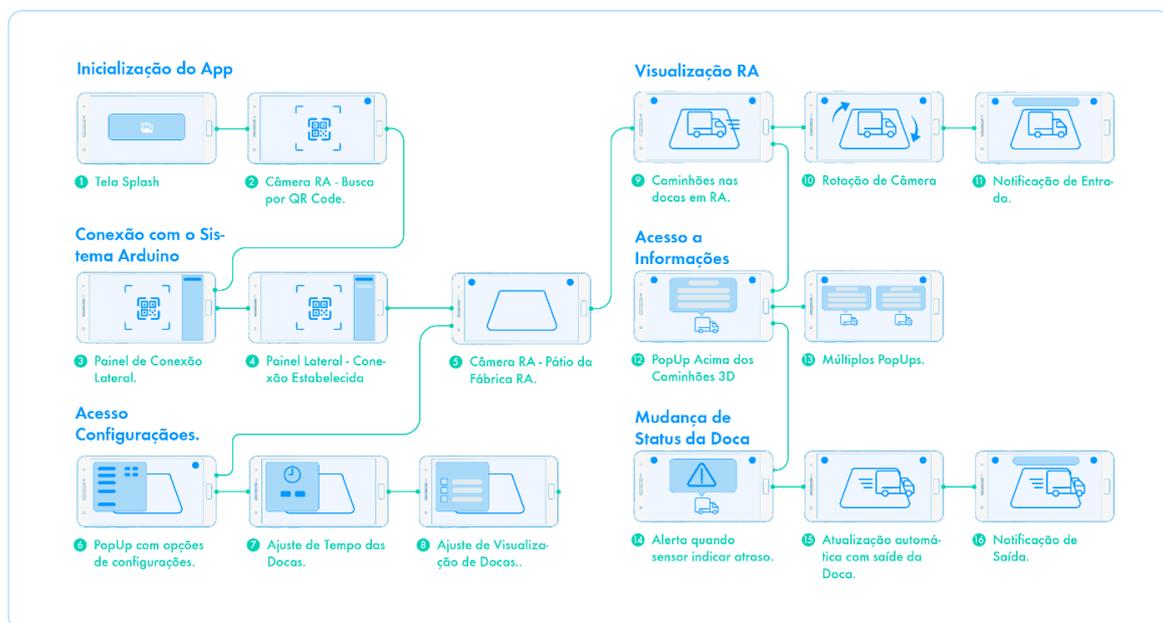
Para esse cálculo e construção do User Goals (KAASINEN, 2015) foram listados os critérios e funções descobertas nas etapas anteriores e em seguida, as duas personas foram postas lado a lado onde, partindo do seu perfil e dos achados encontrados nos mapas, estabeleceu-se pontos de acordo com o nível de prioridade de cada função para a persona, seguindo para o nível de complexidade de desenvolvimento, Figura 11. Após o cálculo das prioridades, foi possível identificar seis incidências. Segundo o perfil da persona, a função de maior prioridade é a visualização total dos pátios da fábrica, pois com esta visualização o planejamento dos horários de chegada nas docas seria feito de forma mais ágil. Seguido por: Sinalização de mudança do status da doca (Dentro do tempo, Livre, ou em Atraso); Identificação do tipo de carregamento que está na doca; Visualização de saída do caminhão na doca; Visualização do tempo de permanência do container na doca; Uso de sensores para automatizar as alterações nas docas.

Figura 9 - User Flow da Interface.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 10 - Wireframe da Interface.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 11 - Wireframe da Interface.

Tasks	Guilherme Almeida (Persona 1)	Ricardo Santos (Persona 2)	Complexidade	Prioridade
Criar conta no aplicativo.				
Fazer login no aplicativo.				
Visualização total dos pátios de carga.				
Visualização do Tempo de permanência nas docas.				
Visualizar objetos 3D em Realidade Aumentada				
Situação das Docas atualizadas de forma automática				
Opção de visualizar docas específicas.				
Identificar o tipo de container que está na doca.				
Identificar quando um caminhão sai da doca?				
Facilidade de manuseio				
Informações centralizadas e em tempo real.				
Feedbacks visuais sobre a situação da doca.				
Visualizar o tempo que o caminhão permanece na doca.				
Facilidade de implementação do sistema arduino na doca.				
Uso de RFID para identificar os containers.				
Contato com a portaria para atualizar.				
Uso de Sensores de presença nas docas.				

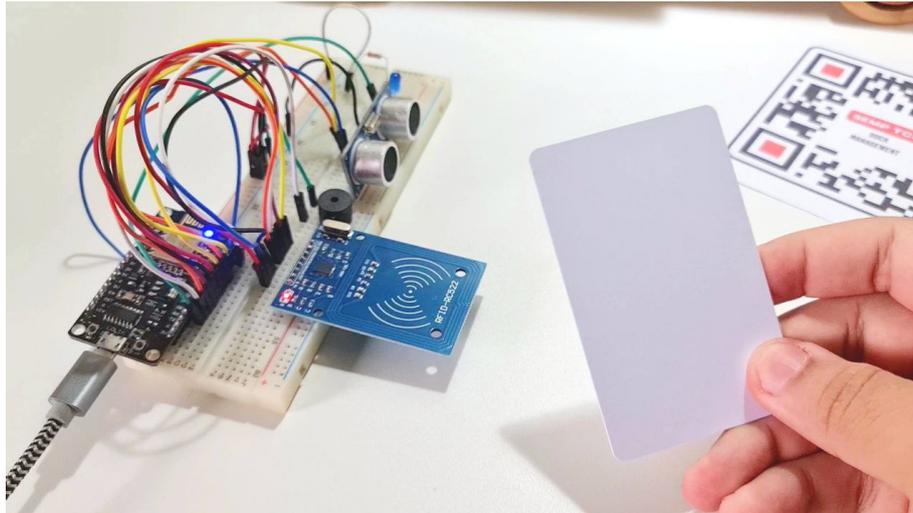
Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.4 Quarta Etapa: Entrega

Chegando a última etapa do Diamante Duplo e do Fluxograma, na camada Superfície, temos a entrega do produto desenvolvido. Neste momento foram realizadas: a produção do protótipo e os testes com os usuários.

O sistema IoT, após ser montado, apresentou uma estabilidade favorável para ser replicado. Todos os componentes se comunicaram de forma satisfatória, possibilitando a interação com a aplicação RA. A Figura 12 apresenta o sistema IoT finalizado.

Figura 12 - Sistema IoT construído com microcontrolador Arduino.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Dentre as características da aplicação RA temos:

- Mudança nos modelos 3D que representam a fábrica, os pátios e os caminhões nas docas;
- Implementação de notificações em cada mudança de status das docas;
- Animações de entrada e saída dos caminhões nas docas;
- Painel de conexão com o sistema IoT via Wi-fi;
- Implementação do sistema de status das docas.

Para a consolidação desta primeira proposta de interface, o teste com o usuário final foi necessário. Seguindo as métricas de usabilidade propostas por Mifsud (2020), a Eficácia, Eficiência e a Satisfação do Usuário foram analisadas a fim de obter uma comprovação da aplicabilidade da solução na fábrica de acordo com as necessidades das pessoas.

4.5 Testes com Usuário

Antes do início dos testes, o sistema IoT foi posicionado e instalado em uma doca cedida pela direção. A doca possuía ligação elétrica e contava com outro sistema de sinalização já instalado. Posteriormente, as sessões ocorreram de forma presencial na fábrica de televisores e contaram com nove funcionários convidados, todos ligados diretamente

ou indiretamente com o processo de logística das docas. As sessões foram gravadas e aconteceram de forma individual com duração máxima de quarenta minutos e em diversos locais da fábrica para verificar sua fácil visualização.

A primeira etapa para realização dos testes foi definir as tarefas que os usuários deveriam realizar. O Quadro 3 apresenta as tarefas definidas.

Quadro 3 - Tarefas do usuário nas sessões de testes.

NÚMERO	DESCRIÇÃO
1	Conectar o dispositivo Mobile ao Sistema Arduino.
2	Posicionar e rastrear o QR Code para visualizar a RA.
3	Identificar os pátios da fábrica por meio da visualização em RA
4	Identificar a doca número 001 apenas por meio da visualização em RA
5	Acessar as informações da Doca
6	Fechar o quadro de informações das docas.
7	Identificar quando uma doca está em atraso
8	Identificar e acessar as configurações do Aplicativo.
9	Acessar as configurações e ajustar o tempo limite da doca.
10	Acessar as configurações e ajustar a visualização das docas.
11	Identificar o tipo de carregamento que está chegando na doca.
12	Identificar quando um caminhão chega e sai da doca.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Ao realizar as tarefas 1, 9 e 10 os usuários evidenciariam possíveis erros e acertos na construção da interface fixa na tela. As tarefas número 7, 11 e 12 buscaram identificar o correto funcionamento da conexão entre a aplicação RA e o sistema IoT. As demais, verificar a percepção e interação do usuário com os elementos tridimensionais visualizados em 3D. A ordem das tarefas representa o roteiro que o usuário deveria seguir na sessão de testes.

Figura 13 - Representação da visualização do modelo 3D em RA.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela 1 - Resultados de Eficácia da Interface.

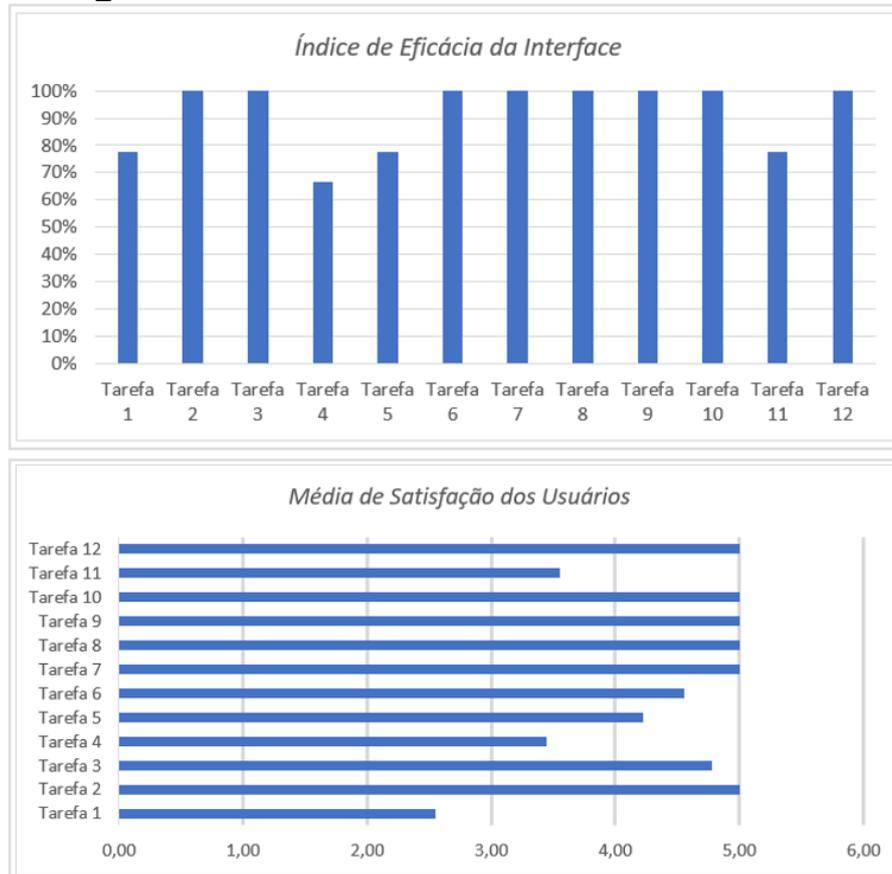
Participante	Tarefas											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Usuário 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Usuário 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Usuário 3	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1
Usuário 4	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Usuário 5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Usuário 6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Usuário 7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Usuário 8	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1
Usuário 9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Para verificar a Eficiência o tempo de execução de cada uma das Tarefas foi coletado. Vale ressaltar que devido ao tipo de tarefa definido, acesso de função e visualização de elementos, foi definido que para se obter um resultado satisfatório neste quesito, o tempo de realização de cada objetivo deveria ser inferior ou igual a 10 segundos, equivalentes a uma média de 0.15 objetivos/segundo. Com os resultados foi possível observar uma semelhança no gráfico de Eficácia nas tarefas 1, 4, 5 e 11. Tarefas que levaram menos tempo alcançaram o índice de 100%.

Partindo para a última análise dos testes temos a satisfação do usuário em relação a execução dos objetivos definidos. Para esta análise o questionário SEQ (Single Ease Question) foi utilizado para coletar o feedback ao final de cada tarefa concluída. A pergunta feita foi: “Qual o nível de dificuldade que você sentiu ao realizar esta tarefa?”. Para mensurar esta dificuldade a escala Likert foi utilizada com uma amplitude de cinco valores: 1 para “Muito difícil” a 5 para “Muito Fácil”. Os resultados dos testes de Eficácia, eficiência e satisfação estão expostos abaixo (Figura 14):

Figura 14 - Resultados dos Testes de Usabilidade.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.6 A Interface em Realidade Aumentada

Após estas análises, a proposta da interface foi revisada novamente a fim de corrigir os elementos que apresentaram falhas na sua execução ou entendimento. As novas alterações estão listadas a seguir e demonstradas na Figura 15:

- Adição do botão de conexão seguindo o padrão do restante da aplicação;
- Melhoria no painel de conexão. Adaptação para o padrão de cores da aplicação e aumento das fontes.
- Melhoria nos modelos 3D dos caminhões e refinamento das animações de chegada e saída.
- Ajuste dos ícones utilizados na interface.
- Correção dos “bugs” encontrados no processo de conexão com o sistema IoT.
- Ajustes na estabilidade dos modelos 3D ao serem visualizados em Realidade Aumentada.
- Possibilidade de utilizar a aplicação em qualquer ambiente por meio de QR Code predefinido.

Figura 15 - Proposta de Interface em Realidade Aumentada pós Testes.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Em relação à tela principal, o padrão mais minimalista foi adotado com a adição do desfoque dos elementos interativos em RA (botões e painéis). Por meio do “menu”, as opções de configurações aparecem fixas na tela e permitem ao usuário alternar, entre ligado e desligado, os elementos tridimensionais.

Considerando os gráficos de usabilidade, o painel de conexão com o sistema IoT foi reformulado para apresentar um fluxo mais direto. O painel, oferece feedbacks visuais para o usuário por meio da listagem de docas que estão online e offline. Por meio desta listagem o usuário também pode visualizar informações mais detalhadas da doca. Neste painel, dados como horário de permanência na doca, situação em relação ao tempo e localização na fábrica, são visualizados de forma simples e direta para o usuário.

Por fim, a implementação de feedbacks, do tipo notificação, foi feita para que o usuário saiba exatamente os elementos que foram alterados no pátio físico.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção de interfaces digitais está em constante evolução, impulsionada por avanços tecnológicos que abrem novas possibilidades. No entanto, esse processo precisa ser adaptado às novas necessidades dos usuários e aos requisitos dos meios digitais. Nesse contexto, com o advento de inovações como a Realidade Aumentada (RA), o design de interfaces tangíveis se destaca, caracterizado pela manipulação de objetos físicos com propriedades digitais, oferecendo novas soluções para a indústria.

Diante disso, esta pesquisa buscou contribuir para o processo de criação de interfaces digitais voltadas para a indústria, utilizando a tecnologia RA. Para tal, foram demonstradas as soluções atualmente utilizadas no cenário industrial, analisado o processo de criação de produtos com tecnologia RA, desenvolvido um produto IoT e uma interface RA para uma problemática real, além de examinado o seu uso por usuários.

A utilização do método do Diamante Duplo, aliado ao método de Garret, possibilitou o desenvolvimento de um produto que se enquadra no conceito de inovação tec-

nológica e de uma interface planejada com foco no usuário final. As etapas de Imersão, Definição, Ideação e Prototipação foram essenciais para a compreensão e aprofundamento da importância das necessidades dos usuários. O conhecimento do processo e sua correta aplicação se devem aos estudos prévios sobre Experiência do Usuário (UX) e Design de Interfaces (UI). A pesquisa evidenciou a necessidade de soluções simples e eficazes no processo de produção e logística de uma fábrica, conforme revelado por estudos anteriores. Verificou-se que a tecnologia RA oferece uma experiência diferenciada nas etapas de planejamento, utilização e visualização de informações, promovendo maior agilidade e eficiência no monitoramento, capacitação e tutoria.

Em relação à interface desenvolvida após as etapas do Diamante Duplo, surgiram questionamentos quanto à sua usabilidade, como o uso de botões visualizados em RA, informações exibidas em elementos 3D, o processo de conexão com o sistema IoT e o manuseio do dispositivo ao visualizar objetos em RA. Apesar dessas questões, os testes confirmaram que a grande vantagem desse tipo de interface é que o conhecimento intuitivo do usuário sobre o mundo físico pode ser transferido para a manipulação do mundo virtual. Esse modelo permite ao usuário a impressão de que a aplicação está funcionando no ambiente tridimensional real, possibilitando a exploração e manipulação natural dos objetos, como apontar e pegar, usando as mãos.

Analisando os movimentos e ações do usuário, uma interface baseada em RA é semelhante a uma interface tradicional, no sentido de que ambas leem dados produzidos pelo usuário. Entretanto, uma interface de RA utiliza periféricos que procuram libertar o processo de interação do plano bidimensional.

Os resultados dos testes de usabilidade propostos por Mifsud (2020), que avaliaram a eficácia, eficiência e satisfação dos usuários, confirmaram esses questionamentos:

- Cerca de 98% das atividades propostas foram realizadas com uma taxa de 100% de eficácia.
- A eficiência na realização de cada objetivo está diretamente ligada à eficácia. Quatro elementos da interface apresentaram erros ou impossibilitaram o usuário de continuar na aplicação.
- Três usuários demonstraram dificuldades no manuseio do dispositivo após a aparição dos elementos tridimensionais em RA.

Apesar de algumas expressões negativas, todos os usuários reconheceram a importância e os benefícios da solução proposta, sugerindo pequenas melhorias e alterações na interface. Embora haja limitações, a pesquisa preenche lacunas no campo da construção de interfaces digitais para a indústria, demonstrando as possibilidades de aplicação da RA no monitoramento de fábricas e comprovando que o design centrado no usuário promove soluções inovadoras, adaptáveis a diferentes cenários.

Por fim, a pesquisa trouxe importantes reflexões sobre o design de interfaces, estimulando o surgimento de novas questões de pesquisa no estudo do design. As transformações resultantes deste trabalho são inevitáveis e enriquecedoras para o pesquisador e para os resultados obtidos.

REFERÊNCIAS

- ADLIN, T., PRUITT, J., GOODWIN, K., HYNES, C., MCGRANE, K., ROSENSTEIN, A., & MULLER, M. J. Putting personas to work. **CHI'06 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems**, 13–16, 2006.
- ALONSO, M., GIL, A., MORENO, A., GARRIDO, J., GUTIERREZ-BALLESTEROS, E., & CAÑE-TE-CARMONA, E. An IoT Based Mobile Augmented Reality Application for Energy Visualization in Buildings Environments. **APPLIED SCIENCES-BASEL**, 1–15, 2020.
- ALVES, J. M. O sistema Just in Time reduz os custos do processo produtivo. **Anais Do Congresso Brasileiro de Custos-ABC**, 1995.
- AMBROSE, G., HARRIS, P., & BALL, N. **The fundamentals of graphic design**. Bloomsbury Publishing, 2019.
- AULENTA, F., & LENS, P. Recent advances in Augmented Reality. **New Biotechnology**, 29(1), 1, 2011.
- AZUMA, R. Tracking Requirements for Augmented Reality. **Communications of the ACM**, 36(7), 50–51, 1993.
- AZUMA, R. T. A Survey of Augmented Reality. **Presence**, 6(3), 355–385, 1997.
- BARROSO, A., HEIMBECKER, C., IONE, M., & DOLZANE, F. Ergonomia de software na interface de projetos educativos a aplicação de critérios de usabilidade em um ambiente virtual de aprendizagem destinado à formação de professores **Software ergonomy in the interface of educational projects the application of usab**. 76697–76718, 2021.
- BILLINGHURST, M., CLARK, A., & LEE, G. A survey of augmented reality. **Foundations and Trends in Human-Computer Interaction**, 8(2–3), 73–272, 2015.
- BOQUIMPANI, A., & FIGUEIRA FILHO, S. A Realidade Aumentada Como Novo Paradigma Da Interface Homem-Máquina: Um Caso De Estudo Aplicado À Leitura De Rótulos Nutricionais. **Universidade Federal Fluminense**, 2017.
- BOUSDEKIS, A., APOSTOLOU, D., & MENTZAS, G. Predictive Maintenance in the 4th Industrial Revolution: Benefits, Business Opportunities and Managerial Implications. **IEEE Engineering Management Review**, 48(1), 57–62, 2019.
- BRENNER, W., & UEBERNICKEL, F. Design thinking for innovation. **Research and Practice**, 2016.
- BRETAS, A. Matriz Certezas, Suposições e Dúvidas. **Médium - Educação Fora Da Caixa**, 2015.
- BROWN, T. (2020). Design Thinking: uma metodologia poderosa para decretar o fim das velhas ideias. **Alta Books**.
- CACHADA, A., BARBOSA, J., LEITÃO, P., GERALDES, C. A. S., DEUSDADO, L., COSTA, J., TEIXEIRA, C., TEIXEIRA, J., MOREIRA, A. H. J., MOREIRA, P. M., & ROMERO, L. Maintenance 4.0: Intelligent and Predictive Maintenance System Architecture. **IEEE International**

Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA, 2018-Septe, 139–146, 2018.

CATAPAN, A. H., FILHO, P. C., SOUZA, A. C., THOMÉ, Z. R. C., & CYBUS, W. A. Ergonomia em Software Educacional: A possível integração entre usabilidade e aprendizagem. **IHC'99 II Workshop Sobre Fatores Humanos Em Sistemas Computacionais**, 1999.

COOPER, A. The Origin of Personas. **Retrieved**, 2003.

COUNCIL, D. A study of the design process. 44(0), 2007.

D'ANGELO, T. Desenvolvimento de Dispositivos Vestíveis de Realidade Aumentada de Baixo-Custo para Indústria 4.0. **Universidade Federal de Ouro Preto**, 2018.

ERKOYUNCU, J. A., DEL AMO, I. F., DALLE MURA, M., ROY, R., & DINI, G. Improving efficiency of industrial maintenance with context aware adaptive authoring in augmented reality. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, 66(1), 465–468, 2017.

FRASCARA, P. J. La necesidad del diseño de información. **Foroalfa**, 1–7, 2011.

FRIZZIERO, L., LIVERANI, A., CALIGIANA, G., DONNICI, G., & CHINAGLIA, L. . Design for Disassembly (DfD) and Augmented Reality (AR): Case Study Applied to a Gearbox. **Machines**, 7(2), 29, 2019.

GABBARD, J. L., SWAN, J. E., HIX, D., LANZAGORTA, M., LIVINGSTON, M., BROWN, D., & JULIER, S. Usability Engineering : Domain Analysis Activities for Augmented Reality Systems. 4660(202), 445–457, 2002.

GARRETT, J. J. The elements of user experience: user-centered design for the web and beyond. **Pearson Education**, 2010.

GOMES, D. L., REIS, P. R. J. DOS, PAIVA, A. C. DE, SILVA, A. C., JR, G. B., GATTASS, M., & ARAÚJO, A. S. De. An Approach for Construction of Augmented Reality Systems using Natural Markers and Mobile Sensors in Industrial Fields. **International Journal of Computers Communications & Control**, 12(4), 507–518, 2017.

GUSTAFSSON, D. Analysing the Double diamond design process through research & implementation, 2019.

IDEO. The Field Guide to Human-centered Design: Design Kit. **Ideo**, 2015.

ISO 9241-11: Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) - Part 11 **Guidance on usability**, 1998.

ISO/IEC TR 9126-4:2004: Software engineering — Product quality — Part 4: Quality in use metrics, 2004.

JEON, J., HONG, M., YI, M., CHUN, J., KIM, J. S., & CHOI, Y. J. Interactive authoring tool for mobile augmented reality content. **Journal of Information Processing Systems**, 12(4), 612–630, 2016.

JETTER, J., EIMECKE, J., & RESE, A. Augmented reality tools for industrial applications: What are potential key performance indicators and who benefits? **COMPUTERS IN HU-**

MAN BEHAVIOR, 87, 18–33, 2018.

KAASINEN, E., ROTO, V., HAKULINEN, J., HEIMONEN, T., JOKINEN, J. P.,

KALBACH, J. (2020). **Mapping experiences**. O'Reilly Media.

KARVONEN, H., ... & TURUNEN, M. (2015). Defining user experience goals to guide the design of industrial systems. **Behaviour & Information Technology**, 34(10), 976-991.

KETTERL, M., SCHULTE, A., O., & HOCHMAN, A. Interactive Technology and Smart Education Article information : **Interactive Technology and Smart Education**, Vol. 7(Issue: 3), 168–180, 2010.

LIN, C. Y., CHAI, H. C., WANG, J. Y., CHEN, C. J., LIU, Y. H., CHEN, C. W., LIN, C. W., & HUANG, Y. M. Augmented reality in educational activities for children with disabilities. **Displays**, 42, 51–54, 2016.

LIU, H.-H., YANG, S. J. H., CHEN, S. Y., & TARNG, W. The Influences of the 2D Image-Based Augmented Reality and Virtual Reality on Student Learning. **EDUCATIONAL TECHNOLOGY & SOCIETY**, 20(3), 110–121, 2017.

LOPIK, K. VAN, SINCLAIR, M., SHARPE, R., CONWAY, P., & WEST, A. Developing augmented reality capabilities for industry 4.0 small enterprises : Lessons learnt from a content authoring case study. **Computers in Industry**, 117, 103208, 2020.

MERENDA, C., KIM, H., TANOUS, K., GABBARD, J. L., FEICHTL, B., MISU, T., & SUGA, C. Augmented Reality Interface Design Approaches for Goal-directed and Stimulus-driven Driving Tasks. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, 24(11), 2875–2885, 2018.

MICLOT, M., FOSTER, M., LONG, C., FERNÁNDEZ, G., LUND, J., WEATHERBURN, R., SCHOEPPF, T., & KLEINEBERG, O. The Smart Factory of the Future – Part 1 The Smart Factory of the Future – Part 1 Defining the Smart Factory The Smart Factory of the Future – Part 1 Key Traits of Future Industrial Networking Solutions. 1–4, 2016.

MIFSUD, J. Usability Metrics – A Guide To Quantify The Usability Of Any System. **Usability Geek**, 2020. Disponível em: <https://usabilitygeek.com/usability-metrics-a-guide-to-quantify-system-usability/>. Acesso em: 03 jun. 2023.

MILGRAM, P., & KISHINO, F. A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. 12, 1–15, 1994.

MOURTZIS, D., ZOGOPOULOS, V., KATAGIS, I., & LAGIOS, P. Augmented Reality based Visualization of CAM Instructions towards Industry 4.0 paradigm: A CNC Bending Machine case study. **Procedia CIRP**, 70, 368–373, 2018.

NANJAPPAN, V., SHI, R., LIANG, H.-N., XIAO, H., LAU, K. K.-T., & HASAN, K. Design of Interactions for Handheld Augmented Reality Devices Using Wearable Smart Textiles: Findings from a User Elicitation Study. **APPLIED SCIENCES-BASEL**, 9(15), 2019.

PÁDUA, E. M. M. **Metodologia da pesquisa**: Abordagem teórico-prática. Papirus Editora, 2019.

PALMARINI, R., AHMET, J., ROY, R., & TORABMOSTAEDI, H. A systematic review of aug-

mented reality applications in maintenance. 49(July 2017), 215–228, 2018.

PATTI, E., MOLLAME, A., ERBA, D., DALMASSO, D., OSELLO, A., MACII, E., & ACQUAVIVA, A. Information Modeling for Virtual and Augmented Reality. **IT Professional**, 19(3), 52–60, 2017.

PAULO, M. M., RITA, P., OLIVEIRA, T., & MORO, S. Understanding mobile augmented reality adoption in a consumer context. **Journal of Hospitality and Tourism Technology**, 9(2), 142–157, 2018.

PREECE, J., & MALONEY-KRICHMAR, D. Online communities: Design, theory, and practice. **Journal of Computer-Mediated Communication**, 10(4), JCMC10410, 2005

QUANDT, M., KNOKE, B., GORLDT, C., FREITAG, M., & THOBEN, K.-D. General Requirements for Industrial Augmented Reality Applications. **Procedia CIRP**, 72, 1130–1135, 2018.

QUINTÃO, F. S., & TRISKA, R. Design de informação em interfaces digitais: origens, definições e fundamentos Information design: origins, definitions and foundations. **Revista Brasileira de Design Da Informação /**, 105–118, 2013.

RE, G. M. (2013). Low Cost Augmented Reality for Industrial Problem. **Politecnico Di Milano**, 2013.

ROGERS, Y., SHARP, H., & PREECE, J. **Design de interação**. Bookman Editora, 2013.

SAURO, J. (2011). 10 Things to know about completion Rates. MeasuringU. Disponível em: measuringu.com/completion-rates/. Acesso em: 25 mai de 2022.

SCHOLZ, J., & SMITH, A. N. Augmented reality: Designing immersive experiences that maximize consumer engagement. **BUSINESS HORIZONS**, 59(2), 149–161, 2016.

SCHWAB, K. The fourth industrial revolution. **Currency**, 2017

SCURATI, G. W., GATTULLO, M., FIORENTINO, M., FERRISE, F., BORDEGONI, M., & UVA, A. E. Converting maintenance actions into standard symbols for Augmented Reality applications in Industry 4.0. **Computers in Industry**, 98, 68–79, 2018.

SEO, D. W., KIM, H., KIM, J. S., LEE, J. Y., ZHANG, X., HAN, Y., HAO, D., LV, Z., BRANCATI, N., CAGGIANESE, G., FRUCCI, M., GALLO, L., NERONI, P., CHOI, H.-S., KIM, S. K. S.-H., LOUP-ESCANDE, E., FRENOY, R., POPLIMONT, G., THOUVENIN, I., ... CHENG, K. T. Novel individual location recommendation with mobile based on augmented reality. **COMPUTERS & GRAPHICS-UK**, 76(2), 42–49, 2016.

SILVA, A. J. Realidade aumentada na indústria 4.0 – análise bibliométrica sobre orientações, aplicações e implementações. **Brazilian Journal of Development** 80346 Realidade, 6, 80346–80359, 2020.

SIRIBORVORNANRATANAKUL, T. Enhancing User Experiences of Mobile-Based Augmented Reality via Spatial Augmented Reality: Designs and Architectures of Projector-Camera Devices. **ADVANCES IN MULTIMEDIA**, 2018

SURAL, I. Augmented Reality Experience: Initial Perceptions of Higher Education Students. **INTERNATIONAL JOURNAL OF INSTRUCTION**, 11(4), 565–576, 2018.

SURYANTO, A., KUSUMAWATI, D. A., & SANHOURY, I. M. H. Development of Augmented Reality Technology Based Learning Media of Lathe Machines. **Jurnal Pendidikan Teknologi Dan Kejuruan**, 24(1), 32–38, 2018.

TEIXEIRA, J. M. Fluxograma para interfaces digitais: transformando informações em requisitos de função e conteúdo. **Montex**, 2017.

VIANNA, M., VIANNA, Y., ADLER, I., & LUCENA, B. Design Thinking: inovando em negócios. **MJV Press**, Rio de Janeiro, 2012

WESTERFIELD, G., MITROVIC, A., & BILLINGHURST, M. Intelligent Augmented Reality Training for Motherboard Assembly. **International Journal Of Artificial Intelligence In Education**, 25(1), 157–172, 2015

WU, H., WANG, J., & ZHANG, X. (LUKE). User-centered gesture development in TV viewing environment. **Multimedia Tools and Applications**, 75(2), 733–760, 2016.

YANG, S., & MEI, B. Understanding learners' use of augmented reality in language learning: insights from a case study. **Journal Of Education For Teaching**, 44(4), 511–513, 2018.

YIN, J., FU, C., ZHANG, X., & LIU, T. Precise Target Selection Techniques in Handheld Augmented Reality Interfaces. **IEEE ACCESS**, 7, 17663–17674, 2019

ZHANG, X., CHEN, G., & LIAO, H. High-Quality See-Through Surgical Guidance System Using Enhanced 3-D Autostereoscopic Augmented Reality. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, 64(8), 1815–1825., 2017.

ZHOU, T. (2018). Examining User Adoption of Mobile Augmented Reality Applications. **International Journal Of E-Adoption**, 10(2), 37–49, 2018.