

Eduardo Jorge Lira Antunes da Silva, Augusto Cesar Barreto Rocha \*

# Sistema de monitoramento de docas com recursos da Indústria 4.0: estudo de caso com uma interface em Realidade Aumentada e IoT em uma fábrica de televisores



**Eduardo Jorge Lira Antunes da Silva** é Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Amazonas (UFAM); Especialista em Design Digital, Licenciado em Computação pela Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Técnico em Computação Gráfica.

<eduardojlira@outlook.com>

ORCID: 0000-0002-2233-703X

**Augusto Cesar Barreto Rocha** é Doutor em Engenharia de Transportes pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Professor Associado na Universidade Federal do Amazonas (UFAM), com docência em graduação, mestrado e doutorado.

<augusto@ufam.edu.br>

ORCID: 0000-0001-9477-2375

**Resumo** O constante avanço tecnológico colabora para que diversos setores da indústria possam se modificar e se atualizar frente às novas demandas de mercado. A Indústria 4.0 vem trazendo novos paradigmas que redefinem a forma de atuar da indústria neste novo cenário. A tecnologia de Realidade Aumentada (RA), como um dos pilares do conceito 4.0, possibilita novos meios de utilizar a tecnologia da informação e promover essa atualização. Apesar do grande potencial, faltam estudos específicos a respeito da construção de interfaces RA que sejam simples e eficazes. Desta forma, o objetivo desse artigo é apresentar um protótipo de interface RA para simplificar a gestão de docas de JIT (*Just in Time*) em uma fábrica de televisores. Para execução deste trabalho foi aplicado o método Diamante Duplo para compreender o estado atual dos estudos sobre UX e UI com RA e promover inovação na construção da interface RA direcionada para uso na indústria. Os resultados demonstram uma aceitação do produto e implementação simplificada no processo de gerenciamento.

**Palavras-chave** Design de Interface, Realidade Aumentada, Indústria 4.0.

### **Dock Monitoring System with Industry 4.0 Features: Case Study with an Augmented Reality Interface and IoT in a TV Factory**

**Abstract** *The constant technological advance collaborates so that different sectors of the industry can change and update themselves in the face of new market demands. Industry 4.0 has been bringing new paradigms that define how the industry should behave in this new scenario. Augmented Reality (AR) technology, as one of the pillars of the 4.0 concept, enables new ways of establishing information technology and promoting this update. Despite the great potential, there is a lack of specific studies regarding the construction of simple and effective AR interfaces. Thus, the objective of this article is to present an AR interface prototype to simplify the management of JIT (Just in Time) docks in a plant which produces televisions. For the execution of this work, the Double Diamond method was applied to understand the current state of studies on UX and UI with AR and to promote innovation in the construction of the AR interface directed to use in the industry. The results demonstrate product acceptance and simplified implementation in the management process.*

**Keywords** *Interface Design, Augmented Reality, Industry 4.0.*

### **Sistema de Monitoreo de Muelle con Características de Industria 4.0: Caso de Estudio con una Interfaz de Realidad Aumentada e IoT en una Fábrica de Televisiones**

**Resumen** *El constante avance tecnológico colabora para que los diferentes sectores de la industria puedan cambiar y actualizarse ante las nuevas exigencias del mercado. La Industria 4.0 ha traído consigo nuevos paradigmas que definen cómo debe comportarse la industria en este nuevo escenario. La tecnología de Realidad Aumentada (AR), como uno de los pilares del concepto 4.0, posibilita nuevas formas de establecer las tecnologías de la información y potenciar esta actualización. A pesar del gran potencial, faltan estudios específicos sobre la construcción de interfaces AR simples y efectivas. Por lo tanto, el objetivo de este artículo es presentar un prototipo de interfaz AR para simplificar la gestión de los muelles JIT (Just inTime) en una fábrica que produce televisores. Para la ejecución de este trabajo se aplicó el método Double Diamond para comprender el estado actual de los estudios sobre UX y UI con AR y promover la innovación en la construcción de la interfaz AR dirigida al uso en la industria. Los resultados demuestran la aceptación del producto y la implementación simplificada en el proceso de gestión.*

**Palabras clave** *Diseño de interfaz, Realidad aumentada, Industria 4.0.*

## Introdução

Partindo do pressuposto de que a tecnologia de Realidade Aumentada (RA) possui um grande potencial para trazer avanços em diversos campos da indústria como otimização de custos, precisão em manutenção, integração entre funções e que experiências imersivas, proporcionadas pelo uso dessa tecnologia, são esperadas para aumentar a eficiência de alguns pontos como: a qualidade dos treinamentos e propósitos de manutenção, dificilmente encontram-se soluções que possam ser replicadas em outros campos da indústria, como processos logísticos e de gerenciamento. Nesse contexto, a tecnologia de RA pode ser definida como uma tecnologia de suporte que vem sendo implementada na indústria para aumentar a performance de trabalho, a fim de melhorar o tempo de realização e diminuir o custo de produção (RE, 2013).

Segundo Patti *et al.* (2017), os dispositivos RA quando conectados com sensores em construções podem apresentar, por meio de uma interface de software, informações e parâmetros sobre o ambiente relacionados à energia, estrutura e proporcionar o gerenciamento dessas construções com intuito de facilitar ajustes e planejar intervenções. A interseção destes fatores é definida como Internet das Coisas (IoT). Esta por sua vez é a união dos conceitos de interoperabilidade e as tecnologias da informação, pois torna possível a efetiva integração das partes da cadeia logística, por meio de dispositivos de fácil acesso, tanto sem fio quanto com fio.

Quando se trata da construção de interfaces em RA faz-se necessário colocar em evidência o usuário e considerar fatores como familiarização com a tecnologia, manuseio de dispositivos, capacidade visual etc. Além disso, 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 (GABBARD *et al.*, 2002; SEO *et al.*, 2016; MERENDA *et al.*, 2018).

O presente artigo possui como objetivo o desenvolvimento e análise de um protótipo de sistema com interface em RA voltada para o gerenciamento de docas de JIT (*Just in Time*) de uma fábrica de televisores. Para atingi-lo foi empregado o Estudo de Caso da solução no cenário e o desenvolvimento dela por meio do método do Diamante Duplo, criado pelo Design Council do Reino Unido. Esta metodologia é composta de quatro etapas: imersão, definição, ideação e prototipação, que direcionam a compreensão do problema, seu aprofundamento e a tomada de decisões de projetos.

Estima-se que o uso de RA, no cenário industrial, apresenta potencial para promover eficiência no gerenciamento de pátios de carga, de modo a facilitar a visualização de elementos essenciais para controle e planejamento do processo de chegada de insumos, que serão direcionados imediatamente para o processo produtivo.

## Referencial teórico

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. Esta transformação foi nomeada pelos professores Erik Bravniolfsson e Andrew McAfee do Instituto de Tecnologia de Massachusetts como segunda idade das máquinas e em 2011, na Feira Industrial de Hannover, na Alemanha, falava-se em Indústria 4.0 (SCHWAB, 2017).

A visão de uma fábrica no futuro durante a Indústria 4.0 pode ser descrita por meio dos termos: “Indústria 4.0”, “*smart factory*”, “*intelligent factory*”, “*factory of the future*” (MACKENZIE, 2016). Na visão do autor as fábricas serão mais inteligentes, flexíveis, dinâmicas e ágeis. Neste conceito podemos definir uma “*Smart Factory*” como uma fábrica que produz produtos inteligentes, utilizando equipamentos inteligentes, em cadeias de abastecimento inteligentes.

Uma das tecnologias que acompanharam essa transição da Indústria 4.0 para um modelo utilizável foi a RA. Esta trouxe um leque de possibilidades em diversos campos de conhecimento entre eles a logística na indústria por meio da digitalização de processos (JETTER *et al.*, 2018; MOURTZIS *et al.*, 2018). Neste sentido, necessita-se compreender alguns conceitos concernentes à aplicação da RA direcionados ao design: identificar os principais padrões de interfaces para RA voltados para a indústria; verificar como essas interfaces se comportam no ambiente de uso e acompanhar os estudos recentes sobre experiência do usuário com interfaces em RA.

Na linha de Continuidade Realidade-Virtualidade (Figura 1), apresentada por Milgram & Kishino (1994) e utilizada para definir as 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 completamente.

**Figura 1.** Linha de Continuidade Realidade-Virtualidade.

**Fonte:** Adaptado de Milgram & Kishino (1994).



No processo de desenvolvimento de um sistema RA, o desenvolvedor deve escolher uma ou mais plataformas para utilizar. Além disso, é evidente que as linguagens de programação de médio/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 utilizados para criar elementos tridimensionais e inseri-los dentro do sistema tais como Sketchup e Blender (SURYANTO *et al.*, 2018). Após a produção do objeto 3D é necessário importá-los para *softwares* de desenvolvimento, como o *Unity 3D*, *Unreal Engine* ou *Android Studio* e conectá-los por meio de um banco de imagens que serão definidos como *Targets* a partir do 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):

a) 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.

b) Requisitos durante Configuração:

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);

Confiabilidade do sistema: A aplicação deve exigir manutenção mínima e ser o mais confiável possível.

c) Requisitos durante Operação:

Precisão de apresentação: Precisão no alinhamento de objetos reais e virtuais é necessária para reduzir possíveis erros;

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;

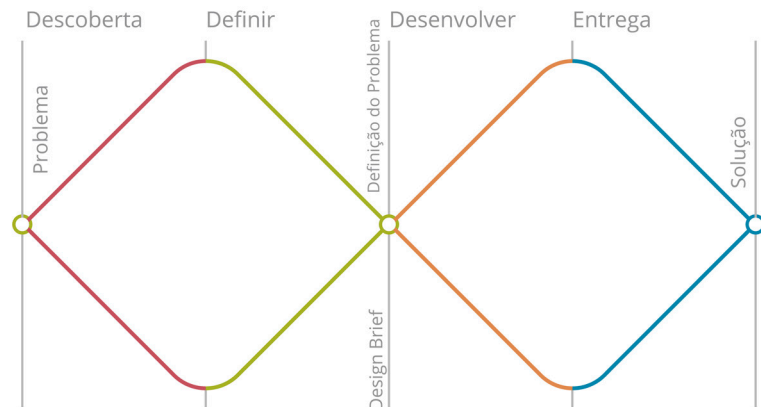
Ergonomia: os aplicativos de RA geralmente operam no lado humano de uma interface homem-máquina. Seu projeto e operação devem, portanto, ser centrados no ser humano e considerar certos fatores humanos (RE, 2013) como atenção reduzida ou fadiga ocular durante períodos mais longos de operação (ARROYO, 2020).

Ao direcionar a construção de interfaces e estudos de usabilidade em sistemas RA surgem questões mais complexas, devido a uma lacuna de métodos largamente aceitos como 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, com o propósito de fornecer informações simples, dentro das condições em que o usuário se encontra.

## Metodologia

No que diz respeito ao Design, a pesquisa utiliza o método do Duplo Diamante 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, ele possibilita alterações para sua adequação às necessidades e características de cada projeto. Estes podem ser o objetivo do projeto, produto ou serviço. Cada fase do diamante incorpora reiterações (“loops”) interativas nos quais a exploração e o teste podem ocorrer (DESIGN COUNCIL, 2007). As quatro fases do processo de design do Duplo Diamante são: Descobrir, Definir, Desenvolver e Entregar (Figura 2).

**Figura 2.** Modelo Diamante Duplo.  
**Fonte:** Design Council (2007).



Este modelo se distingue de outros por dividir sistematicamente o design centrado no ser humano em duas fases divergentes-convergentes sucessivas. Para sintetizar os pontos de contato reunidos no estágio da descoberta de necessidades, os insights e os objetivos de design são definidos no estágio convergente seguinte. Então, a coleta de feedback do usuário durante a fase de desenvolvimento da ideia permite convergir para uma solução final na fase de entrega. O processo é aderente aos princípios de design de usabilidade centrados no usuário, como acompanhamento do status do

produto, relação entre o sistema e o mundo real e flexibilidade e eficiência de uso (ZHANG *et al.*, 2019). Considerando os fatos apresentados, este modelo é aplicável em todo e qualquer processo que busca alcançar inovação, sendo consequentemente aderente ao caso em estudo.

Para a presente pesquisa 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.

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 foi direcionada. Esta etapa foi executada por meio da criação de personas, jornada do usuário e blueprint de serviço.

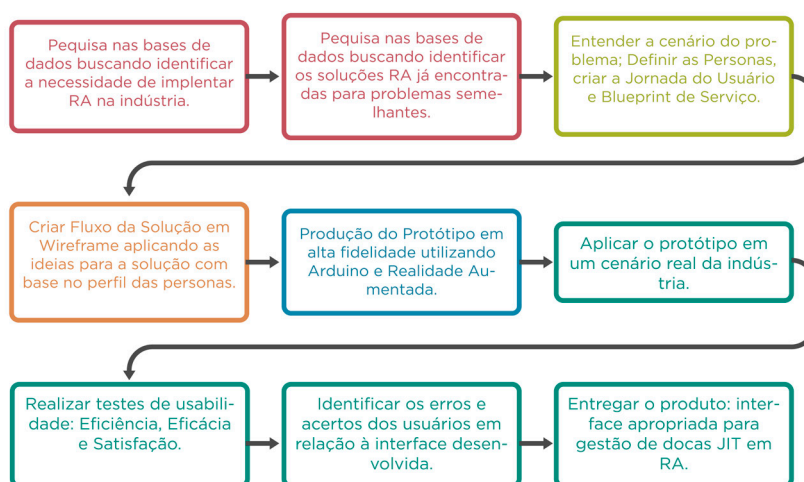
A etapa 3 abrange a etapa de divergência do segundo diamante, desenvolver, que instiga a ideação de soluções que atendam de forma objetiva as necessidades do usuário/persona. Neste momento a construção da primeira proposta de interface em RA foi desenvolvida considerando todos os requisitos e premissas definidos na etapa 2 do método.

A última etapa, entrega, foi alcançada com a construção do protótipo em alta fidelidade da solução, utilizando a aplicação RA e o sistema Arduino. Nesta etapa também foi feita a coleta dos dados da aplicação com o usuário final com o objetivo de captar feedbacks e possíveis melhorias.

A Figura 3 demonstra o esquema do procedimento metodológico, considerando todas as etapas da pesquisa de acordo com as cores do Diamante Duplo.

Figura 3. Design Experimental da Pesquisa.

Fonte: Elaborada pelos autores.



A análise de dados foi fragmentada em duas partes, sendo a primeira direcionada a compreender os resultados da análise 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.

Para a análise 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 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 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.

## Resultados

Após o levantamento bibliográfico e definição da metodologia, foram iniciadas as etapas do Diamante Duplo para a construção da interface partindo da análise do ambiente da fábrica de televisores. Em seguida, após definição da persona e construção do *wireframes* do aplicativo, um protótipo de baixa fidelidade foi construído no microcontrolador Arduino para teste de desempenho do protótipo 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.

Para a realização da análise do processo de gestão das Docas JIT da fábrica, a planta baixa foi organizada e reformulada para uma melhor análise, ocultando informações desnecessárias para este estudo, conforme a Figura 4.

**Figura 4.** Planta baixa simplificada da fábrica.

**Fonte:** Elaborada pelos autores.





Após setorizar a planta baixa, foi possível identificar os principais pontos de parada dos caminhões para entrega de insumos nas docas de JIT. As vagas foram representadas pelos retângulos amarelos. As docas JIT tem como base o conceito de que nenhum produto deve ser fabricado, transportado ou adquirido antes do momento exato. Desta forma, as matérias-primas devem chegar à fábrica somente quando elas forem utilizadas. As vias dão acesso à toda a fábrica contornando seus espaços possibilitando uma melhor circulação em todo o espaço da fábrica.

A fábrica possui três pátios de carga, sendo um deles o principal, com maior capacidade de docas de JIT e os outros dois com vagas laterais ao redor dos setores 2, 3 e 4, conforme demonstrado na Figura 5.

**Figura 5.** Localização dos pátios de carga da fábrica.

**Fonte:** Adaptada pelos autores, a partir do banco de imagens da empresa.



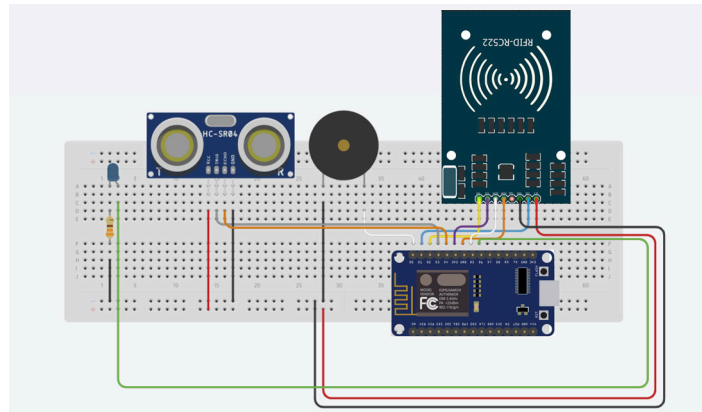
O desenvolvimento do protótipo do sistema se deu em duas etapas: desenvolvimento do aplicativo AR e construção do sistema utilizando o microcontrolador Arduino, com realização de teste de desempenho de *hardware*.

O aplicativo foi desenvolvido utilizando o SDK Vuforia. A escolha baseou-se pela simplicidade de se trabalhar com as ferramentas de RA integrada a *Engine Unity 3D* e por possibilitar acesso gratuito. Isso implica que, para o desenvolvedor, o aplicativo pode ser construído utilizando um código-fonte único, que será processado e compilado em diferentes linguagens de programação, próprias de cada sistema operacional móvel. A estrutura do sistema pode ser visualizada por meio da Figura 6, onde o microcontrolador Arduino identifica o veículo que entrar no pátio por meio do componente *wi-fi* RFID e envia as informações do veículo para o aplicativo mobile que reproduz estas por meio da RA possibilitando uma melhor interação e visualização do tempo de ocupação de cada veículo de carga.

Ao final da construção do circuito Arduino com RFID foi realizada a conexão com a *engine* de desenvolvimento *Unity 3D* integrada com o SDK Vuforia, que possibilita o uso de visualizadores RA e reconhecimento de targets para rastreamento e visualização de modelos 3D. O protótipo de baixa fidelidade possui as seguintes funções e elementos de interface: indicador de tempo que um veículo está em uma vaga, o número do veículo, a posição em que ele está parado e o número total de vagas disponíveis.

**Figura 6.** Sistema Arduino do produto.

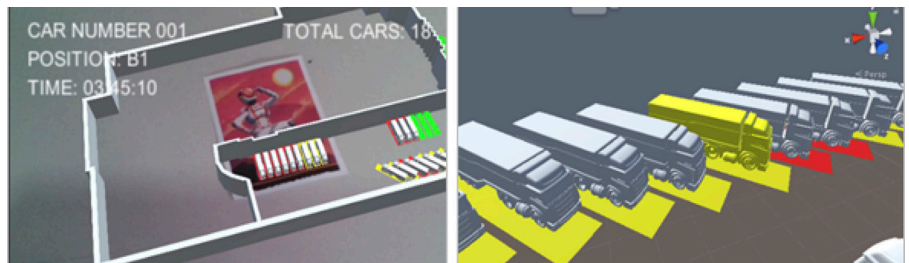
**Fonte:** Elaborada pelos autores.



Ao receber a informação do RFID a aplicação no computador a interpreta e envia para o dispositivo mobile permitindo que as informações sejam visualizadas em RA.

**Figura 7.** Protótipo de baixa fidelidade da interface RA.

**Fonte:** Elaborada pelos autores.



Em seguida, foi realizada uma análise de desempenho de *hardware*. Para esta análise foi utilizada uma ferramenta do software Unity, que mede e demonstra informações de desempenho da aplicação em tempo real. O teste consistiu em verificar as características de *hardware* durante o reconhecimento de um marcador e renderização do objeto 3D. Os resultados podem ser visualizados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Análise de Desempenho do protótipo RA.

**Fonte:** Elaborada pelos autores.

Itens de otimização	Aplicação Proposta	
	Sem presença de objetos RA	Com presença de objetos RA
CPU	32.0ms	169.5ms
Batches	5	211
Tris	1.8k	13.1M
Screen	2560x1440	2560x1440
Render Threads	26.1ms	164.3ms
Saved by batching	0	0
Verts	5.2K	7.1M
Shadow Casters	0	180
Visible Skinned Meshes	0	0

Após a análise dos dados coletados foi possível identificar que a aplicação apresenta um bom desempenho ao reconhecer o target definido. Todavia, é possível observar um aumento significativo no uso da CPU e no uso de Threads de renderização. Esse consumo está ligado ao uso de modelos 3D com grande número de polígonos (Tris).

Em relação ao tempo de resposta, a partir da coleta de informação do RFID, a aplicação respondeu de forma satisfatória alterando de forma eficaz o status de cada vaga de acordo com a entrada de novas informações pelo Arduino. Posteriormente foram realizadas melhorias na interface e na integração e comunicação com o sistema Arduino. Desta forma, foi desenvolvido um protótipo de alta fidelidade (Figura 8) que seria utilizado na etapa de entrega e teste.

Com o sistema Arduino e Aplicativo RA finalizados, foram agendadas sessões de testes na fábrica para coleta de feedbacks sobre a interface e usabilidade com a tecnologia RA.



**Figura 8.** Protótipo de alta fidelidade da interface RA.

**Fonte:** Elaborada pelos autores.

A condução dos testes seguiu um roteiro onde os usuários deveriam executar uma série de objetivos (Quadro 1), experimentando as principais funções do aplicativo e verificando sua utilidade dentro do processo da fábrica.

**Quadro 1.** Objetivos do Teste do Aplicativo RA.

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Objetivo	Atividade
1	Conectar o dispositivo Mobile ao Sistema Arduino.
2	Posicionar e rastrear o QR Code em 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 001 em RA.
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.

Para a sessão de testes foram convidados nove participantes que atuavam diretamente e indiretamente no processo de gestão da fábrica. As sessões foram realizadas de forma individual e toda a ação dos usuários foram filmadas para análise posterior (Figura 10).

**Figura 9.** Sistema Arduino posicionado na doca da Fábrica.

**Fonte:** Elaborada pelos autores.



**Figura 10.** Usuário utilizando a aplicação RA.

**Fonte:** Elaborada pelos autores.



## Análise dos dados

Após a realização das sessões de testes, os dados coletados foram analisados seguindo as métricas de usabilidade. Os dados foram calculados seguindo as seguintes fórmulas para Eficácia, Eficiência e Satisfação.

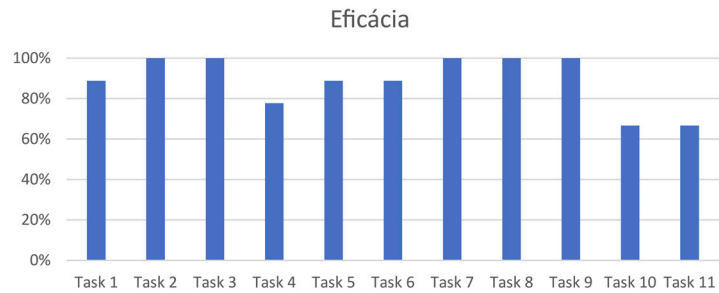
A eficácia foi calculada medindo a taxa de conclusão. Referida como a métrica de usabilidade fundamental, a taxa de conclusão é calculada atribuindo um valor binário de '1' se o participante do teste consegue completar uma tarefa e '0' se ele / ela não consegue.

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

Os resultados podem ser visualizados no gráfico a seguir (Figura 11).

**Figura 11.** Gráfico com a Eficácia em cada tarefa.

**Fonte:** Elaborada pelos autores.



Em relação a Eficiência, ela foi medida em termos de tempo de tarefa, ou seja, o tempo (em segundos e ou minutos) que o participante levou 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:

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

Após a execução dos testes, a eficiência de cada atividade está exposta a seguir, na Figura 12.

**Figura 12.** Resultado em segundos para atividades.

**Fonte:** Elaborada pelos autores.

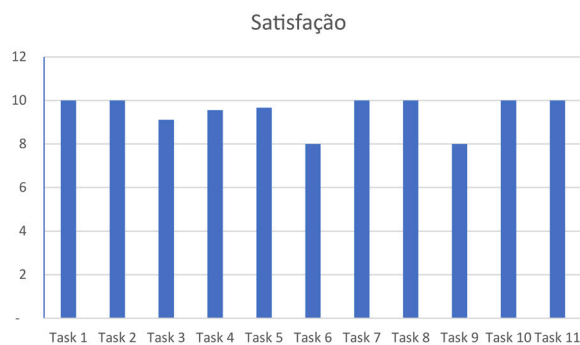
Task 1	Task 2	Task 3	Task 4	Task 5	Task 6	Task 7	Task 8	Task 9	Task 10	Task 11
0.02s	0.01s	0.2s	0.12s	0.6s	1s	0.11s	0.07s	0.07s	0.05s	0.01s

Por fim, a satisfação do usuário foi medida por meio de questionários de satisfação padronizados que foram aplicados após cada tarefa. Depois que os usuários tentarem uma tarefa (independentemente de conseguirem atingir seu objetivo ou não), eles receberam imediatamente um questionário para medir o quão difícil foi esta tarefa. Para este estudo o teste SEQ (*Single Ease Question*) foi definido por permitir de forma simples identificar nuances no nível de dificuldade apresentado em determinada tarefa (SAURO, 2012) de acordo com a escala Likert com 10 níveis.

De acordo com os questionários os participantes classificaram a execução das atividades como “Muito fácil” e “Fácil” respectivamente, seguindo a métrica de 0 a 10 na escala Likert.

**Figura 13.** Nível de satisfação dos usuários em cada atividade.

**Fonte:** Elaborada pelos autores.



## Conclusões

O artigo teve como objetivo apresentar uma proposta de sistema e interface, utilizando a tecnologia da Realidade Aumentada para o gerenciamento de pátios de cargas de uma fábrica de televisores. A partir da análise do estado da arte, compreensão dos requisitos das partes interessadas e aplicações de ferramentas de UX e UI para desenvolvimento de inovação centrada no usuário, verifica-se que o objetivo proposto foi atingido. A solução apresenta de forma simplificada o atual estado do pátio de carga da fábrica por meio de elementos visuais em realidade aumentada.

A utilização das ferramentas e o processo nas etapas do método do Diamante Duplo, Imersão, Definição, Ideação e Prototipação, foram essenciais para a compreensão e aprofundamento da importância das necessidades dos usuários. É importante mencionar que o conhecimento do processo assim como sua correta aplicação se deve aos estudos prévios sobre Experiência do Usuário (UX) e Design de Interfaces (UI).

Evidencia-se a importância da pesquisa com usuário e da imersão no cenário real do problema, uma vez que todas as decisões tomadas para o desenvolvimento da solução de gerenciamento dos pátios, foram embasadas na interação com o usuário e na sua aplicação no ambiente físico e dentro do processo da fábrica.

Após as diversas sessões de testes realizadas ficou evidente a grande necessidade de soluções simples e eficazes dentro do processo de produção da fábrica. Apesar da tecnologia de RA ainda ser tímida, quando se trata de implementação de produtos, ela oferece uma experiência diferenciada dentro das etapas de planejamento, utilização e principalmente na visualização. Desta forma, promovendo mais agilidade e eficiência no processo de gerenciamento, capacitação e tutoria.

Como limitações da pesquisa têm-se as restrições físicas do ambiente industrial que é limitado ao teste e implantação de novas soluções que possam afetar diretamente o processo de produção da fábrica. É necessário um período adicional com o produto em uso, para que sejam feitas validações adicionais, com o propósito de mitigar possíveis problemas de *hardware* que surjam com o longo prazo.

Por fim, sugere-se como estudos futuros a implementação de novas funcionalidades no aplicativo RA, como possibilidade de contagem do tempo de forma individual em cada doca, identificação mais detalhada do tipo de carregamento presente no caminhão. Outra oportunidade é extrapolar o conceito para outras indústrias que façam uso do método JIT, buscando mais interoperabilidade e maior aderência aos conceitos da Indústria 4.0. Ademais, refinar a usabilidade do sistema e o funcionamento da realidade aumentada na prática de uma operação dinâmica, durante o processo de gerenciamento do pátio, validando a sua aplicabilidade para outras fábricas e cenários distintos.

## Referências

- ARROYO-VAZQUEZ, N. **Experiencias de realidad aumentada en bibliotecas: estado de la cuestión**. BID: TEXTOS UNIVERSITARIOS DE BIBLIOTECONOMIA DOCUMENTACION, 2016, p. 36, 2020.
- AULENTA, F., & LENS, P. **Recent advances in Augmented Reality**. NEW BIOTECHNOLOGY, v. 29(1), p. 1, 2011.
- Azuma, R. T. **A Survey of Augmented Reality**. PRESENCE, v. 6(3), p. 355–385, 1997.
- Azuma, R. **Tracking Requirements for Augmented Reality**. COMMUNICATIONS OF THE ACM, v. 36(7), p. 50–51, 1993.
- DESIGN COUNCIL. **A study of the design process**. v. 44(0), 2007.
- 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**. v. 4660(202), p. 445–457, 2002.
- GUSTAFSSON, D. **Analyzing the Double diamond design process through research & implementation**, 2019.
- JETTER, JEROME, EIMECKE, J., & RESE, A. **Augmented reality tools for industrial applications: What are potential key performance indicators and who benefits?**, COMPUTERS IN HUMAN BEHAVIOR, v. 87, p. 18–33, 2018.
- 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, v. 117, p. 103–208, 2020.
- MACKENZIE, H. **The Smart Factory of the Future**. p. 1–4, 2016.
- 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, v. 24(11), p. 2875–2885, 2018.
- MIFSUD, J. **Usability Metrics – A Guide to Quantify the Usability of Any System**. USABILITY GEEK, 2020. (<https://usabilitygeek.com/usability-metrics-a-guide-to-quantify-system-usability/>)
- MILGRAM, P., & KISHINO, F. **A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays**. v. 12, p. 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, v. 70, p. 368–373, 2018.

PALMARINI, R., AHMET, J., ROY, R., & TORABMOSTAEDI, H. **A systematic review of augmented reality applications in maintenance.** v. 49, p. 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, v. 19(3), p. 52–60, 2017.

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

RE, G. M. **Low Cost Augmented Reality for Industrial Problem.** POLITECNICO DI MILANO, 2013.

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

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, v. 76(2), p. 42–49, 2016.

SURYANTO, A., KUSUMAWATI, D. A., & SANHOURY, I. M. H. **Development of Augmented Reality Technology Based Learning Media of Lathe Machines.** JOURNAL PENDIDIKAN TEKNOLOGI DAN KEJURUAN, v. 24(1), p. 32–38, 2018.

ZHANG, XIAOCHEN, ZHANG, H., ZHANG, L., ZHU, Y., & HU, F. **Double-Diamond Model-Based Orientation Guidance.** SENSORS, v. 19(4670), 2019.

**Recebido:** 12 de fevereiro de 2022.

**Aprovado:** 17 de maio de 2022.