

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA – PPGEEL**

SALVADOR SERGI AGATI

**GRAAL - GAMIFICAÇÃO EM LINHAS DE MONTAGEM MANUAIS COM
REALIDADE AUMENTADA PARA A INDÚSTRIA 5.0**

JOINVILLE

2024

SALVADOR SERGI AGATI

**GRAAL - GAMIFICAÇÃO EM LINHAS DE MONTAGEM MANUAIS COM
REALIDADE AUMENTADA PARA A INDÚSTRIA 5.0**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo da Silva Hounsell

JOINVILLE

2024

Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com
auxílio do programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CCT/UDESC

Agati, Salvador Sergi

GRAAL - Gamificação em Linhas de Montagem Manuais com Realidade Aumentada para a Indústria 5.0 / Salvador Sergi Agati. – Joinville, 2024.

156 p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo da Silva Hounsell.

Tese (Doutorado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Joinville, 2024.

1. Gamificação. 2. Realidade Aumentada. 3. Diretrizes de Projeto. 4. Indústria 4.0. 5. Linhas de Montagem Manual. I. Hounsell, Prof. Dr. Marcelo da Silva . II. , . III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. IV. Título.

SALVADOR SERGI AGATI

**GRAAL - GAMIFICAÇÃO EM LINHAS DE MONTAGEM MANUAIS COM
REALIDADE AUMENTADA PARA A INDÚSTRIA 5.0**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo da Silva Hounsell

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Marcelo da Silva Hounsell
CCT/UEDESC

Membros:

Prof^ª. Dra. Maria Beatriz Alves de Sousa Santos
Universidade de Aveiro

Prof. Dr. Paulo Miguel de Jesus Dias
Universidade de Aveiro

Prof. Dr. Fabiano Luiz Santos Garcia
Mediasoft Softwares e Produções Multimídia Ltda

Prof. Dr. Roberto Silvio Ubertino Rosso Jr
CCT/UEDESC

Joinville, 23 de agosto de 2024

Dedico este trabalho aos meus avós e meus pais,
com amor, reverência e respeito.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a UDESC - Universidade do Estado de Santa Catarina e particularmente ao Centro de Ciências Tecnológicas, campus Joinville, pela oportunidade de fazer o Mestrado e Doutorado nesta instituição.

Agradeço a todos os professores da UDESC com quem tive contato nesses anos, sem exceção. Sou eternamente grato a todos por sua dedicação e ensinamentos.

Agradeço a Clécio Candido do Nascimento, Alessandra Rosa de Santana e Cláudia Prata de Jesus Pavoski por suas observações e sugestões durante o processo de construção da prova de conceito do GRAAL.

Agradeço a todos os colegas do LARVA, especialmente ao Rudieri Dietrich Bauer e ao Thiago Luis Watamback por todo o auxílio com o uso do sistema RAMM, a Lilian Cristina Peixe, Vanessa Suzuki e Débora Lawall Langner por todo apoio nos testes e simulações do GRAAL no laboratório.

Agradeço também ao professores Aleksander Sade Paterno, André Bittencout Leal e Mariana Santos Matos Cavalca, do Departamento de Engenharia Elétrica, pela atenção com que fui agraciado sempre que precisei de alguma decisão de suas responsabilidades.

Agradeço ao professor Marcelo da Silva Hounsell por essa caminhada, desde o Mestrado em Computação Aplicada até este momento. Foi uma honra percorrer esse caminho com sua orientação firme e consistente.

Finalmente, agradeço aos meus familiares, em especial à minha esposa Maria Rita, pela compreensão dos momentos em que não pude estar presente.

“Childlike soul dreamer
One journey,
one to seek and see in every light
Do open true pathways away.”
Yes, The Gates of Delirium, To Be Over

RESUMO

À medida que a tecnologia avançou, os sistemas de manufatura tornaram-se cada vez mais inteligentes, partindo de um processo artesanal de produção para sistemas ciberfísicos, com máquinas autônomas o suficiente para tomada de decisões. Essa flexibilidade da indústria permite a personalização de produtos que, por sua natureza, são produzidos em baixa quantidade, muitas vezes inviabilizando financeiramente sua automação completa. A permanência do ser humano na linha de montagem cria um gargalo de qualidade. O erro humano prevalece nas estatísticas das linhas de montagem. Uma possível alternativa para diminuir os erros das linhas de montagem manuais é a Realidade Aumentada (RA). No entanto, apenas a RA não é suficiente para evitar desmotivação e falta de engajamento dos operadores na tarefa, repetitiva por natureza. A gamificação pode ser um recurso auxiliar ao operador para aumentar sua motivação e engajamento. O objetivo deste trabalho é propor um modelo conceitual de gamificação para uma linha de montagem manual auxiliada por RA com o intuito de reduzir a taxa de erros e os tempos de montagem. A metodologia utilizada consistiu de levantamento do estado da arte para se definir diretrizes de projeto de RA e de gamificação e conceituar e definir um modelo de gamificação para a área. O modelo proposto foi implementado em um sistema de RA para linhas de montagem manual de placas de circuito impresso (PCIs). Essa prova de conceito foi avaliada por 34 especialistas da área usando-se dois questionários, adaptados para o contexto da aplicação: *Technology Acceptance Modeling 3* (TAM3) e *Gameful Experience* (GAMEX). O GRAAL foi bem avaliado nos dois questionários. Todas as questões positivas ficaram com pontuações acima do centro da escala para ambos os questionários. Todas as questões negativas ficaram abaixo do centro da escala, para ambos os questionários. A exceção foi o construto Absorção do GAMEX (que avaliou o quanto a operadora estava absorta em relação à atividade e à gamificação), com questões afirmativas, que teve todos os resultados abaixo do centro da escala, o que foi um resultado considerado desejado. Esses resultados sugerem que o GRAAL pode ser útil como recurso auxiliar para linhas de montagem manuais. Entretanto, modelar um sistema que articule RA e gamificação não é uma tarefa trivial na indústria. Os recursos do sistema dependem de fatores condicionantes como ambiente da aplicação, contexto da aplicação, público da aplicação, hardware de RA e elementos de gamificação.

Palavras-chave: Gamificação. Realidade Aumentada. Diretrizes de Projeto. Sistemas de Produção. Indústria 4.0. Linhas de Montagem Manual.

ABSTRACT

As technology advances, manufacturing systems have become increasingly smarter, starting from a craft production process to cyber-physical systems, with autonomous machines capable of decision-making. This industrial flexibility allows for the customization of products, which by nature are produced in low quantities, often making complete automation financially unfeasible. The human presence on the assembly line creates a quality bottleneck, with human error prevailing in assembly line statistics. One possible alternative to reduce errors in manual assembly lines is Augmented Reality (AR). However, AR alone is not enough to prevent operators' demotivation and lack of engagement in an inherently repetitive task. Gamification can be an auxiliary tool to increase the operators' motivation and engagement. The objective of this work is to propose a conceptual gamification model for a manual assembly line to reduce error rates and assembly times. The methodology consisted of a state-of-art survey to define AR and gamification design guidelines and to conceptualize and define a gamification model for the area. The proposed model was implemented in an AR system for manual printed circuit boards (PCBs) assembly lines. This proof of concept was evaluated by 34 experts in the field using two questionnaires, adapted to the application context: Technology Acceptance Modeling 3 (TAM 3) and Gameful Experience (GAMEX). GRAAL was well evaluated in both questionnaires. All positive questions had scores above the center of the scale for both questionnaires. All negative questions were below the center of the scale for both questionnaires. The exception was the GAMEX Absorption construct (which assessed how absorbed the operator was in relation to the activity and gamification), with affirmative questions, which had all results below the center of the scale, but was considered a desired outcome. These results suggest that GRAAL can be a useful auxiliary tool for manual assembly lines. It is concluded that modeling a system that articulates AR and gamification is not a trivial task in the industry. System resources depend on conditioning factors such as application environment, application context, application audience, AR hardware and gamification elements.

Keywords: Gamification. Augmented Reality. Design Guidelines. Production System. Industry 4.0. Manual Assembly Lines.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Percurso Metodológico do GRAAL.	19
Figura 2 – Contínuo Real-Virtual.	21
Figura 3 – Exemplo de marcador fiducial.	22
Figura 4 – Representação hierárquica do modelo MDC.	27
Figura 5 – <i>Framework</i> Octalysis	29
Figura 6 – As sete dimensões do <i>framework</i> 5W2H	31
Figura 7 – Inclusão de aspectos motivacionais na dimensão "Quem" do <i>framework</i> 5W2H	32
Figura 8 – Complemento das motivações na dimensão "Por Quê" do <i>framework</i> 5W2H	33
Figura 9 – Número de aplicações de RA por aplicação	47
Figura 10 – A estrutura lógica e caminho de raciocínio da revisão.	48
Figura 11 – Elementos gráficos de gamificação em linha de montagem	56
Figura 12 – Posicionamento do GRAAL no universo de aplicações	62
Figura 13 – Estágios de implantação do GRAAL para linhas de montagem manuais . . .	63
Figura 14 – Modelo Conceitual do GRAAL	65
Figura 15 – Obtenção do Conjunto de elementos de gamificação adaptativa do GRAAL .	67
Figura 16 – Escolha dos elementos da gamificação de <i>setup</i>	68
Figura 17 – Caso de uso do GRAAL	69
Figura 18 – PCI usada para testes. As áreas retangulares demarcam estágios de montagem de um conjunto de componentes	75
Figura 19 – Fluxograma do sistema de RA para montagem e validação de PCIs	79
Figura 20 – Projeto do sistema de RA	80
Figura 21 – Andréia	84
Figura 22 – Inserção da gamificação no projeto de RA de referência	87
Figura 23 – Informação de RA no monitor da operadora no posto de trabalho	88
Figura 24 – Importância dos elementos de gamificação para todas as tipologias de Bartle para sexo feminino	89
Figura 25 – PCI e alguns componentes usados na avaliação do GRAAL	96
Figura 26 – Implementação de hardware do GRAAL	97
Figura 27 – Implementação de hardware do GRAAL	98
Figura 28 – Feedback de desempenho cumulativo da operadora após M montagens . . .	99
Figura 29 – Gamificação após um turno de montagem	100
Figura 30 – Dados de desempenho sendo continuamente gravados no banco de dados .	116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Requisitos tecnológicos para Realidades Virtual e Aumentada.	22
Tabela 2 – Artigos de revisão encontrados sobre montagem usando RA	38
Tabela 3 – Diretrizes para projetos de RA e GMF	54
Tabela 4 – Diretrizes contempladas no projeto GRAAL	73
Tabela 5 – Diretrizes contempladas no projeto de RA	82
Tabela 6 – Dinâmicas do jogo por estímulo	86
Tabela 7 – Dinâmicas por motivações	86
Tabela 8 – Filtragem prévia dos elementos de gamificação pela <i>persona</i> , tarefa e contexto de uso	92
Tabela 9 – Elementos de gamificação para todas as tipologias de Bartle para o sexo feminino	93
Tabela 10 – Exemplo de linha de registro para o banco de dados do GRAAL	94
Tabela 11 – Resultados do TAM 3 (n=34)	104
Tabela 12 – Resultados do GAMEX (n=33)	106
Tabela 13 – Questões Finais (n=33)	108

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	17
1.2	ESCOPO	17
1.3	METODOLOGIA DE PESQUISA	18
1.3.1	Caracterização	18
1.3.2	Percorso metodológico	18
1.4	ESTRUTURA	20
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1	REALIDADE AUMENTADA	21
2.2	GAMIFICAÇÃO	25
2.2.1	Elementos de Design de Jogos	26
2.3	<i>FRAMEWORKS</i> DE GAMIFICAÇÃO	29
2.3.1	Octalysis	29
2.3.2	5W2H	30
2.3.3	5W2H+M	32
2.3.4	Frameworks para avaliação dos tipos de jogadores	33
2.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	35
3	TRABALHOS RELACIONADOS	36
3.1	MAPEAMENTO SISTEMÁTICO TERCIÁRIO DA LITERATURA	36
3.2	ASPECTOS DAS REVISÕES E DIRETRIZES ENCONTRADAS	38
3.2.1	Áreas de Aplicação da RA	38
3.2.2	RA em Montagem	39
3.2.3	Aspectos de Tecnologia de RA	39
3.2.4	RA para Treinamento de Montagem e Manutenção	40
3.2.5	Transferência de Conhecimento em Manutenção	41
3.2.6	Aplicações de RA e RV na Indústria	41
3.2.7	Projeto de RA	42
3.2.8	RA para a Indústria de Estaleiros 4.0	42
3.2.9	RA na Manutenção Industrial	44
3.2.10	RA na Indústria de Manufatura na Última Década	45
3.2.11	Impacto da RA nos Processos Industriais	46
3.2.12	Montagem 4.0	47
3.2.13	RA como Apoio à Manufatura Inteligente	49
3.2.14	Estudo de 4 Anos de RA com Montagem Industrial para a I4.0	50
3.3	AGRUPANDO AS DIRETRIZES ENCONTRADAS	51

3.3.1	Diretrizes de Usabilidade	52
3.3.2	Diretrizes Cognitivas	52
3.3.3	Diretrizes de Ergonomia	52
3.3.4	Diretrizes de Contexto Corporativo (ou Organizacionais)	52
3.4	ESTUDOS SOBRE GAMIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO	55
3.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	57
4	GRAAL - UM MODELO DE GAMIFICAÇÃO PARA UMA LINHA DE MONTAGEM MANUAL	59
4.1	AMBIENTE DA APLICAÇÃO	59
4.2	PÚBLICO DA APLICAÇÃO	60
4.3	CONTEXTO DA APLICAÇÃO	61
4.4	AVALIAÇÃO DO GRAAL	62
4.5	VISÃO PROCESSUAL DO GRAAL	63
4.6	MODELO CONCEITUAL DO GRAAL	64
4.7	MEDIDA DO DESEMPENHO DO GRAAL	70
4.8	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	71
5	PROVA DE CONCEITO	75
5.1	PRODUTO	75
5.2	OPERAÇÃO DE MONTAGEM	75
5.3	OPERADORES	76
5.4	AMBIENTE DE TRABALHO	76
5.5	KPIS	76
5.6	SISTEMA DE RA	77
5.6.1	Hardware	77
5.6.2	Escolha da Ferramenta de Desenvolvimento	78
5.6.3	Projeto de Arquitetura do Sistema de RA	78
5.7	PROJETO DA GAMIFICAÇÃO	82
5.7.1	Quem?	83
5.7.2	O quê?	84
5.7.3	Por quê?	85
5.7.4	Quando?	85
5.7.5	Como?	85
5.7.6	Onde?	86
5.7.7	Vetor de Gamificação	88
5.8	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	95
6	AVALIAÇÃO DO GRAAL	96
6.1	AVALIAÇÃO	101

6.1.1	Perguntas demográficas	102
6.2	TAM 3	103
6.2.1	Utilidade Percebida (UP)	103
6.2.2	Facilidade de uso percebida (FUP)	103
6.2.3	Autoeficácia do Computador (AEC)	103
6.2.4	Relevância do trabalho (REL)	105
6.2.5	Qualidade do Resultado (QR)	105
6.2.6	Demonstrabilidade do Resultado (RES)	105
6.3	GAMEX	105
6.3.1	Prazer	105
6.3.2	Absorção	107
6.3.3	Pensamento Criativo	107
6.3.4	Estimulação	107
6.3.5	Ausência de Sensação Negativa	107
6.3.6	Dominância	107
6.4	PERGUNTAS FINAIS	108
6.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	113
7	DISCUSSÃO	114
7.1	SOBRE A REVISÃO DE LITERATURA E DIRETRIZES ELABORADAS	114
7.2	SOBRE O MODELO CONCEITUAL DO GRAAL	114
7.3	SOBRE A IMPLEMENTAÇÃO DA PROVA DE CONCEITO	116
7.4	SOBRE O PÚBLICO DA AVALIAÇÃO	117
7.5	SOBRE OS RESULTADOS DO TAM 3	117
7.6	SOBRE OS RESULTADOS DO GAMEX	118
7.7	SOBRE AS QUESTÕES FINAIS	119
8	CONCLUSÃO	121
8.1	LIMITAÇÕES	122
8.2	PRINCIPAIS RESULTADOS	122
8.3	PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES	123
8.4	TRABALHOS FUTUROS	124
8.4.1	Melhorias	124
8.4.2	Desdobramentos	125
	REFERÊNCIAS	126
	APÊNDICE A – TABELA 6 (Klock <i>et al.</i>, 2020)	134
	APÊNDICE B – TABELA 10 (Klock <i>et al.</i>, 2020)	135
	APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO AOS ESPECIALISTAS	136
	APÊNDICE D – BOX-PLOTS	149

D.1	TAM3	149
D.2	GAMEX	152
	ANEXO A – TECHNOLOGY ACCEPTANCE MODELING 3 - TAM3	155
	ANEXO B – GAMEFUL EXPERIENCE - GAMEX	156

1 INTRODUÇÃO

A indústria de transformação sempre se reinventou para manter sua competitividade. Esse fato pode ser verificado ao longo da história do setor. Egger e Masood (2019) mostraram a evolução da indústria da manufatura: a primeira revolução industrial trouxe o poder das máquinas mecânicas, evoluindo para linhas de montagem alimentadas por eletricidade durante a segunda revolução industrial, seguida pelos computadores na era da automação da Indústria 4.0 (I4.0). A Indústria 4.0 originou-se em 2011, a partir de um projeto estratégico de alta tecnologia do governo alemão, como uma forma de realizar uma abordagem multisetorial das novas tecnologias a ela agregada (Xu *et al.*, 2021).

A partir de 2017, ainda sob a égide da I 4.0, esforços acadêmicos esporádicos apontavam para uma quinta revolução industrial. Em 2021, a área de pesquisa e inovação da Comissão Europeia, após dois *workshops* virtuais envolvendo organizações de pesquisa, tecnológicas e agências de fomento, formalizou a proposta da Indústria 5.0, com uma visão de uma indústria que, além da busca de eficiência e produtividade, coloca o bem-estar do trabalhador no centro do processo de produção e utiliza novas tecnologias para proporcionar prosperidade para além do emprego e do crescimento, respeitando ao mesmo tempo os limites de produção do planeta. A I 5.0 baseia-se em três objetivos: sustentabilidade, humano-centrada e resiliente ("European-Comission, 2017).

Linhas de montagem são sistemas de produção orientados ao fluxo da montagem, típicos da produção industrial de *commodities* padronizadas em grandes quantidades e que atualmente ganham importância na produção de baixo volume de produtos personalizados (Becker; Scholl, 2006).

Uma das vantagens desses sistemas é a possibilidade da produção de itens sob medida, onde o cliente pode antecipadamente definir atributos do item comprado como, por exemplo, diferentes acabamentos, cores e formatos. No entanto, paradoxalmente, essa tendência de mercado de se personalizar produtos reduz a possibilidade de automação completa, por se tornar financeiramente inviável, colocando novamente o operador na linha de montagem. Como consequência dessa personalização dos produtos, ocorre um esforço cognitivo maior do operador para a realização de diferentes montagens, em ciclos de produção cada vez mais reduzidos, devido à redução do ciclo de vida dos produtos (Hold *et al.*, 2016).

Com a melhoria significativa na confiabilidade e estabilidade das instalações e equipamentos, o erro humano se tornou um dos fatores mais críticos para defeitos de qualidade (Le *et al.*, 2012). Este tipo de problema aumenta no contexto de produtos eletrônicos, que são altamente suscetíveis à sua perda total quando ocorrem problemas de montagem (Mukhopadhyay *et al.*, 2019). Ao se montar placas de circuito impresso (PCIs) manualmente, qualquer mudança na orientação do componente, ou até sua ausência, podem afetar a funcionalidade da PCI de forma imprevisível.

Uma possível alternativa para se reduzir os erros humanos em linhas de montagem é

o uso da Realidade Aumentada (RA) como elemento auxiliar para conduzir passo a passo o operador no processo de montagem (Värno *et al.*, 2019),(Bauer *et al.*, 2020).

A RA refere-se a um grupo de tecnologias que inserem objetos gerados computacionalmente em um ambiente real, a fim de criar um ambiente misto onde haja interação de objetos reais e virtuais (Azuma, 1997), (Dias; Zorzal, 2013), (Tori; Hounsell, 2018).

Nas últimas décadas, o interesse em usar RA em diversas áreas de aplicação, inclusive na indústria, vem aumentando (Cardoso *et al.*, 2019), mas ainda existem questões a serem pesquisadas e respondidas. Uma dessas questões é como introduzir a RA, no contexto da I4.0, aos atores dessa indústria de modo que a aceitação e utilização dessa tecnologia ocorra sem perda da continuidade dos processos produtivos e com a menor resistência. Schuldt e Friedemann (2017) afirmam que:

Uma introdução bem-sucedida dos processos da Indústria 4.0 requer aceitação. Resistência e ceticismo, que podem ser expressos na forma de não uso, ou uso limitado de novos sistemas, [...] assim como uma motivação de trabalho reduzida, são as principais razões para o fracasso das mudanças operacionais (Schuldt; Friedemann, 2017).

Portanto, é conveniente conhecer diretrizes para a introdução da RA em ambientes industriais para que não haja resistência de sua utilização, tanto do ponto de vista empresarial, como do ponto de vista operacional. Essas diretrizes podem ser conhecidas *a priori* e incorporadas ao projeto do sistema de RA já no seu início, para que os possíveis problemas de sua implementação sejam evitados. Elas podem ser obtidas a partir da experiência de implantações realizadas previamente pela indústria, como um todo, e/ou em laboratórios de pesquisa. Encontradas essas diretrizes de uso geral, deve-se implementá-las em um estudo de caso, para se comprovar sua real utilidade.

No momento da implantação da RA, é necessário considerar a especificidade da aplicação e, portanto, um conjunto de diretrizes específicas precisa também ser pesquisado e definido no momento da aplicação. Além disso, como a RA é uma tecnologia associada diretamente ao trabalho cotidiano do operador, sendo usada como uma interface para a realização direta da tarefa, deve-se prever e antecipar soluções para os tipos de problemas que podem ocorrer com a utilização dessa tecnologia em ambiente industrial, tanto do ponto de vista produtivo, como do ponto de vista do usuário do dispositivo e/ou do sistema de RA.

Assim, é necessário considerar como manter ou aumentar o interesse e a produtividade dos operadores de um sistema de RA durante seu uso contínuo. Uma das possibilidades é a introdução da gamificação nesse sistema.

A Gamificação refere-se ao uso de elementos de jogos digitais em um contexto diferente do de um jogo (Deterding *et al.*, 2011b). Hamari et al. (2014) definem gamificação como um processo para melhorar os serviços com recursos (motivacionais) para promover experiências de jogos e resultados comportamentais (Hamari *et al.*, 2014). O uso da gamificação mostrou-se eficaz para a manutenção do engajamento e da motivação na execução de tarefas distintas como

calibração de dispositivos (Flatla *et al.*, 2011) e educação (Hamari *et al.*, 2014), entre outras. No entanto, poucos estudos foram realizados para se avaliar o resultado da utilização da gamificação na indústria, mormente associada ao uso da RA em linhas de montagem manuais (Warmelink *et al.*, 2018).

Nesta pesquisa considerou-se uma linha de montagem manual de placas de circuito impresso (PCIs), com sistema de RA incorporado. Escolheu-se essa área de aplicação por se constatar, após um mapeamento sistemático da literatura (MSL) (Bauer *et al.*, 2020), haver poucos estudos para esse tipo de aplicação e pelo fato de que, nesses sistemas, é alta a possibilidade de falta da inserção de algum componente ou inserção incorreta de componentes (com polaridade invertida, por exemplo), provocando retrabalhos e até a perda total da PCI, inutilizando componentes e trabalho anterior, com consequente aumento dos custos de produção.

Assim, com base no exposto, a pergunta de pesquisa a ser respondida é:

Como a Gamificação pode ser articulada com um sistema de RA para auxílio à montagem manual de PCIs com objetivo de produtividade e centrada no operador?

1.1 OBJETIVOS

Objetivo Geral: Desenvolver uma solução para guiar a tarefa de montagem manual de forma eficiente e, ao mesmo tempo, motivar o operador.

Objetivos específicos:

- OE1 - Identificar diretrizes gerais para o projeto de sistemas de RA na indústria e verificar a aplicabilidade dessas diretrizes na gamificação de uma linha de montagem manual de PCIs auxiliada por RA;
- OE2 - Elaborar um modelo conceitual para o desenvolvimento e implantação da gamificação em uma linha de montagem manual auxiliada por RA;
- OE3 - Projetar e desenvolver um sistema de gamificação baseado no modelo proposto, para uma linha de montagem manual de PCIs;
- OE4 - Avaliar os possíveis impactos e expectativas do sistema de gamificação.

1.2 ESCOPO

A fim de delimitar o escopo desta pesquisa, algumas premissas são definidas.

- O estudo limita-se à manipulação e montagem manual de pequenos componentes, em pequeno espaço de trabalho;
- O trabalho de montagem manual considerado é individual (não colaborativo);

- Esta pesquisa complementa estudos de uma linha de montagem manual que já usa RA (Bauer *et al.*, 2021);
- Este estudo considera apenas o trabalho realizado em uma única estação de trabalho.

1.3 METODOLOGIA DE PESQUISA

A metodologia adotada nesta pesquisa pode ser definida em função de sua caracterização e de seu percurso metodológico, como apresentado a seguir.

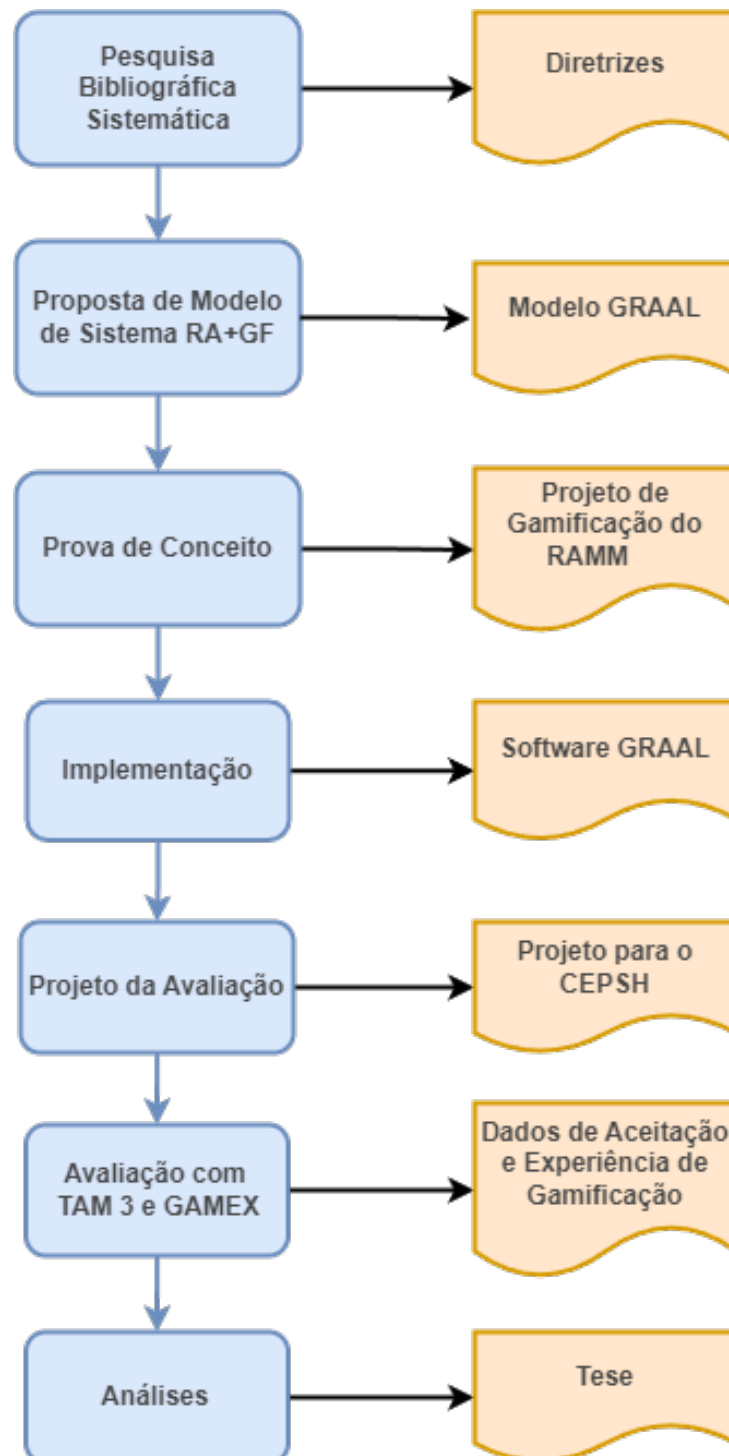
1.3.1 Caracterização

Esta pesquisa se insere no paradigma tecnocrático (Eden, 2007; Gelain *et al.*, 2014) pois haverá um grande volume de conhecimentos novos sendo obtidos pela própria prática de desenvolver uma solução e a forma como esta funciona também é um conhecimento útil. Caracteriza-se também por ser uma pesquisa aplicada (Denning, 2005) uma vez que visa resolver um problema prático gerando uma solução efetiva a um questionamento existente. Também engloba uma pesquisa exploratória (Wazlawick, 2009), pois busca analisar um conjunto de fenômenos para encontrar anomalias que não sejam ainda conhecidas para que possam ser, então, base para pesquisas mais elaboradas.

1.3.2 Percurso metodológico

A metodologia utilizada compreende uma revisão de literatura em mecanismos de busca utilizados na área, seguida de uma Pesquisa Exploratória em uma linha de montagem manual de PCIs, para se avaliar as reais dificuldades dos operadores com o desempenho e motivação em suas tarefas de montagem dessas PCIs. Em seguida, desenvolveu-se um modelo conceitual para a implementação conjunta de um sistema de Realidade Aumentada (RA) e gamificação, baseado no estado da arte. Usando esse modelo com referência, foi construído um protótipo que atendeu ambas as necessidades, tanto do ponto de vista da administração de índices de qualidade quanto na melhoria e facilidade de execução das tarefas de montagem, considerando as especificidades da linha de montagem utilizada. Com o protótipo funcional, fez-se uma Pesquisa Experimental (Wazlawick, 2009), executando-se avaliações de aceitação de tecnologia e experiência da gamificação. Esse processo está esquematizado na Figura 1.

Figura 1 – Percurso Metodológico do GRAAL.



Legenda: RA - Realidade Aumentada, GF - Gamificação, RAMM - Realidade Aumentada para a Montagem Manual, GRAAL - *Gamified Responsible Augmented Assembly Line*, CEP SH - Comitê de Ética e Pesquisa com Seres Humanos, TAM 3 - *Technology Acceptance Modeling*, GAMEX - *Gameful Experience*.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

1.4 ESTRUTURA

A fim de apresentar a pesquisa realizada, o texto foi dividido da seguinte forma: o Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica, detalhando os principais conceitos e definições das áreas de RA e gamificação. No Capítulo 3 é realizada uma revisão da literatura, na qual são expostos trabalhos relacionados à presente pesquisa e compiladas diretrizes de projeto de RA. No Capítulo 4 são descritos o método e o desenvolvimento do modelo conceitual proposto, o GRAAL. No Capítulo 5 é apresentada uma prova de conceito, baseada no modelo proposto. No Capítulo 6 a prova de conceito é avaliada usando-se dois instrumentos: TAM 3 (*Technology Acceptance Modeling 3*) e GAMEX (*Gamiful Experience*). No Capítulo 7 é feita a discussão geral do trabalho. No Capítulo 8 é feita a conclusão, são apresentadas as limitações do trabalho e trabalhos futuros.

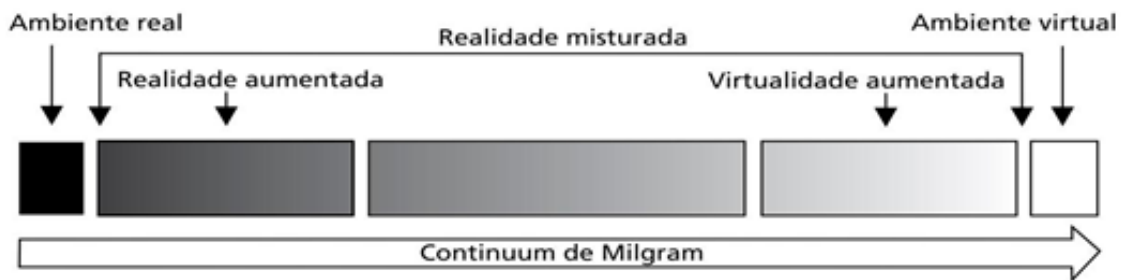
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os conceitos relacionados à proposta desta pesquisa. São elencados os principais conceitos de Realidade Aumentada e de Gamificação.

2.1 REALIDADE AUMENTADA

Realidade Aumentada (RA) é uma tecnologia que permite enriquecer um ambiente real com elementos virtuais de modo que, com o auxílio de algum dispositivo de interação, esses elementos virtuais sejam percebidos por um ou mais de nossos sentidos. Na literatura encontram-se definições de RA que se complementam (Tori; Hounsell, 2018),(Milgram *et al.*, 1995). Milgram *et al.* (1995) definem a RA como um contínuo que envolve desde o ambiente real, com a realidade sem artefatos artificiais adicionados à visualização do usuário, até a virtualidade completa, onde todo o ambiente é virtual (Milgram *et al.*, 1995). No centro do contínuo, existe a RA e a Virtualidade Aumentada (VA), que formam a Realidade Misturada (RM). A Figura 2 ilustra esses conceitos.

Figura 2 – Contínuo Real-Virtual.



Fonte: adaptado de (Milgram *et al.*, 1994).

Billinghamurst *et al.* (2015), por sua vez, procuram comparar RA com Realidade Virtual (RV), do ponto de vista de requisitos tecnológicos, como mostra a Tabela 1 (Billinghamurst *et al.*, 2015).

Em particular, a definição de Azuma (1997) parece mais abrangente e desassociada da tecnologia sendo aplicada, quando define RA como um sistema que tem três características (Azuma, 1997):

- Combina real e virtual;
- É interativo em tempo real;
- Está registrado em três dimensões.

Para o processamento de informação de entrada no sistema de RA, é necessária a existência de sensores para captação e transdução de informações reais em dados. De forma

Tabela 1 – Requisitos tecnológicos para Realidades Virtual e Aumentada.

	Realidade Virtual Substitui a Realidade	Realidade Aumentada Aumenta a Realidade
Geração de Cena	necessita imagens realistas	renderização mínima ok
Dispositivo de visualização	total imersão, FOV* grande	não imersivo, FOV pequeno
Tracking e sensoreamento	baixa acurácia ok	necessária alta acurácia

*FOV: Field of View - Fonte: extraído de (Billinghurst *et al.*, 2015).

geral, os sensores são óticos e não óticos. Exemplos de sensores óticos são: *webcam* e câmera do *smartphone*. Como exemplo de sensores não óticos, têm-se: sensores de inércia, magnéticos e de geo-posicionamento.

Para se posicionar corretamente um objeto virtual em um ambiente real, em tempo real, dois tipos de tecnologia devem ser considerados: o registro (*register*) e o rastreamento (*tracking*).

O registro é o recurso necessário para que um sistema de RA consiga inserir um elemento virtual em uma determinada posição do ambiente virtual, usando-se um sistema tridimensional de coordenadas para essa inserção. A definição desse ponto tridimensional deve ser precisa e imutável em relação ao movimento do usuário e dos objetos (virtuais ou reais) na cena real. Uma das técnicas de registro é a que se utiliza de marcadores fiduciais, que são cartões ou adesivos, com a impressão de uma moldura e um símbolo interno. Com o auxílio de técnicas de visão computacional, os marcadores definem a posição tridimensional da câmera real e sua orientação (ângulos de inclinação e rotação, por exemplo) em relação ao ambiente, permitindo a sobreposição dos objetos virtuais com precisão (Alcantara *et al.*, 2015). A Figura 3 mostra uma aplicação de RA utilizando-se desses marcadores para auxiliar o registro do objeto virtual.

Figura 3 – Exemplo de marcador fiducial.



Fonte: extraída de (Tori; Hounsell, 2018).

O rastreamento é o processo de se identificar onde devem ser posicionados e como devem ser apresentados os elementos virtuais para o usuário, sendo esse processo o núcleo de um sistema de RA (Tori; Hounsell, 2018). O rastreamento permite determinar como um elemento virtual deve se mover e para onde ele deve se mover. Se imaginarmos uma pessoa girando em

torno de um objeto virtual inserido em uma cena real, percebe-se que para se manter a sensação de realidade desse objeto virtual na cena, é necessário que ele seja atualizado na cena de forma coerente ao movimento do usuário.

O tipo de sensor que deve ser utilizado no rastreamento é uma decisão de projeto que deve considerar, entre outros aspectos, velocidade de processamento, robustez, confiabilidade e nível de detalhamento da informação que se deseja obter nos dados.

A RA baseada em visão tem tecnologia robusta, é precisa, flexível, fácil de usar. No entanto, tem problemas com a iluminação do ambiente e oclusão de informações. Ela se utiliza de marcadores, sendo os marcadores fiduciais os mais usados.

A RA baseada em sensores é precisa, de menor latência (atraso para processar e exibir um elemento virtual na cena visualizada), menor *jitter* (oscilação do posicionamento do elemento virtual em relação às suas coordenadas) e robusta para certos tipos de ambientes com limitações (sujeira, variações bruscas de iluminação, cenas com objetos semelhantes ou assemelhados ao resto do ambiente) (Tori; Hounsell, 2018).

De forma resumida, um sistema de RA pode ser exemplificado como sendo um sistema retroalimentado pelo comportamento do usuário, ora recebendo informações dos dispositivos de saída do sistema, ora fornecendo informações aos dispositivos de entrada. Este sistema deve ter pelo menos três componentes: um componente de rastreamento, um componente de registro e um componente de visualização. O modelo do mundo real é necessário para servir de referência para o componente de rastreamento, que deve determinar a localização do usuário no mundo real. O modelo de mundo virtual consiste no conteúdo utilizado para a RA. Ambas as partes do modelo espacial devem ser registradas no mesmo sistema de coordenadas (Schmalstieg, 2016).

Dentre os diversos dispositivos de saída existentes, citam-se:

- Monitores de vídeo (*displays*), que apresentam aos olhos do usuário a mistura da imagem real, obtida pela câmera de vídeo que está fixada em um ponto real do cenário, com as imagens virtuais produzidas por processamento gráfico. Essa mistura ocorre em tempo real. Dessa forma, desde que o usuário possa se ver no sistema total (em terceira pessoa), ou parcialmente (como usando as mãos, em primeira pessoa), ele consegue interagir com os elementos virtuais;
- Visão através de dispositivo ótico OST (*optical see-through*), que consiste de um dispositivo ótico semi-transparente de modo a permitir a passagem dos raios de luz oriundos da cena real, ao mesmo tempo em que reproduz ou reflete uma imagem gerada pelo módulo de processamento do sistema, sendo essa fusão ótica de imagens apresentada às retinas do usuário;
- Visão através de dispositivo de vídeo VST (*video see-through*), onde a imagem resultante da combinação das imagens de uma ou mais câmeras (sempre à frente do usuário e apontadas para onde o usuário está olhando), com imagens virtuais geradas pelo processamento do sistema, é a ele apresentada, por meio de um HMD (*Head-Mounted*

Display), um *smartphone* ou um *tablet*, ficando ele, dessa forma, impedido de ter uma visão direta da realidade.

- Projeção ou RA espacial, onde os objetos virtuais são projetados sobre objetos reais.

Citam-se alguns dispositivos básicos de entrada em um sistema de RA:

- Câmera de vídeo, que faz a captura da cena e define e/ou identifica marcadores na cena para a inserção dos objetos virtuais;
- Interfaces tangíveis, associadas a qualquer dispositivo ou objeto real no ambiente de interação que possua algum dispositivo, que o usuário possa empurrar, tocar ou segurar e que ao mesmo tempo gera elementos ou dados de entrada ao sistema, como por exemplo, controladores com botões e/ou joysticks;
- Sistemas de GPS (*Global Positioning System*), que podem identificar a posição do usuário, bem como posicionar objetos usando esse sistema global de coordenadas;
- Sensores de profundidade, que identificam o posicionamento de objetos ou partes do corpo do usuário, de forma que este possa interagir com objetos reais ou virtuais dispostos no ambiente de RA;
- Luvas (*gloves*) com sensores, que permitem o rastreamento da posição da mão e dos dedos para interação com objetos virtuais.

Na direção da visualização encontram-se as seguintes possibilidades:

- Visada direta, onde o usuário determina a direção da visualização, que pode ser por meio ótico OST, onde o elemento virtual é projetado sobre o real (normalmente usando-se uma lente transparente, de contato ou de um óculos, como anteparo para a projeção do objeto virtual) ou por meio de VST, onde o elemento virtual é inserido na imagem real captada por uma câmera e/ou reproduzida para a visualização do usuário;
- Visada indireta, onde o usuário não determina a direção da visualização;
- Projeção, onde a imagem aumentada (real +virtual) é apresentada em um plano opaco;
- Monitor, onde a imagem aumentada é apresentada em um monitor.

Dessas 4 possibilidades a visada direta é considerada a mais imersiva, isto é, a que causa no usuário o maior envolvimento com o cenário aumentado.

Em relação ao controle da visualização, existem as seguintes possibilidades:

- Acoplado à mão (*handheld*, como celulares e *tablets*, controladores com botões ou *joysticks*);

- Acoplado à cabeça (a imagem se movimenta de acordo com o movimento da cabeça do usuário);
- Desacoplado.

O software de RA aparece em duas situações distintas: na autoria e na execução. O software de autoria de RA é usado para integrar objetos virtuais ao ambiente real e deve possuir recursos para fazer uma varredura do cenário real e extrair, a partir desses dados obtidos, os pontos ou as coordenadas 3D de interesse. Deve possuir recursos de calibração e ajuste dos objetos virtuais no cenário. Dentre as ferramentas de autoria, citam-se ARToolKit (Kato; Billinghurst, 1999) e Vuforia (Vuforia, 2024).

O software de execução de RA deve tratar todas as interações do usuário com o sistema, através dos dispositivos de entrada, definindo como está ocorrendo a interação com objetos virtuais e com o próprio ambiente de RA. Ele faz o rastreamento de objetos reais e de cenário para fazer a correta inserção dos objetos virtuais, tanto estática como dinamicamente. Deve também processar as animações, definir novas posições, rotações e translações dos objetos virtuais para que se acomodem aos movimentos da câmera real, bem como realizar computacionalmente a fusão das imagens reais e virtuais para serem apresentadas em algum dispositivo de saída visual, tudo em tempo real. Em contextos mais elaborados, esse software deve interagir com outros sistemas de RA, para obtenção de dados em uma base de dados centralizada, ou para compartilhar dados, no caso de tarefas colaborativas.

2.2 GAMIFICAÇÃO

"A gamificação é o uso de elementos e de *design* advindos da área de jogos em contextos não lúdicos no intuito de melhorar a experiência do usuário e motivá-lo a alcançar algum objetivo específico" (Klock *et al.*, 2016). Outra definição, mais concisa, afirma que "Gamificação é o uso de elementos de jogos em contextos de não-jogos" (Deterding *et al.*, 2011a). Pesquisadores em Interfaces Humano-Computador (IHC) identificaram princípios de projeto que aumentam as possibilidades motivacionais de trabalho colaborativo apoiado por computador, congruentes com a pesquisa sobre psicologia motivacional de *video-games*, (Deterding *et al.*, 2011b).

Yu-Kay Chou (2014) apresenta cinco conclusões do porque os *hobbies* com jogos eram mais preferidos do que o trabalho (Chou, 2014):

- Objetivos claramente definidos;
- Pontuações e ranqueamento;
- *Feedback* mais frequente;
- Alto grau de escolha pessoal de método;
- Assistência consistente.

Werbach e Hunter (2012) justificam o uso da gamificação através de três razões, dentre outras: engajamento, experimentação e resultados (Werbach; Hunter, 2012).

As mesmas necessidades humanas que impulsionam o engajamento nos jogos estão presentes tanto no local de trabalho quanto no mercado consumidor. Nossos cérebros anseiam por resolver quebra-cabeças, obter *feedback* e reforço, experiências que os jogos oferecem. Jogos ativam o sistema de dopamina do cérebro, associado com prazer. O engajamento tem valor comercial por si só. Aproximadamente 70% dos trabalhadores americanos não estão totalmente engajados em seus empregos, e isso sem dúvida, afeta não apenas o desempenho, mas também sua felicidade. Para os consumidores, o engajamento é o que os leva a iniciar uma transação (Werbach; Hunter, 2012).

A experimentação abre espaços para testar possibilidades, já que em um jogo, você pode sempre reiniciar após uma tentativa errada. Se a dosagem do jogo entre erros e acertos é bem realizada, os jogadores estarão sempre motivados a buscar melhorias e tentar diferentes abordagens para obter melhores resultados, um cenário que está bem alinhado com as mudanças constantes encontradas atualmente nos negócios reais.

A terceira razão é que várias empresas observam resultados positivos significativos ao incorporar elementos de jogo em seus processos de negócios. Dentre as empresas citadas por (Werbach; Hunter, 2012), encontram-se Nike, American Express, Microsoft e Samsung.

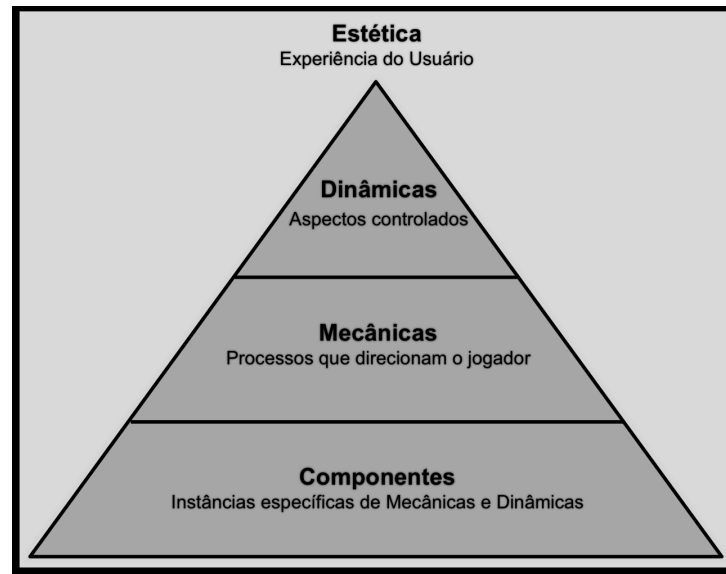
2.2.1 Elementos de Design de Jogos

Klock (2017) apresenta os elementos de jogos conforme o modelo *Mechanics, Dynamics, Components* (MDC) (Klock, 2017) (Werbach; Hunter, 2012), onde as mecânicas (M) são consideradas processos que estimulam a ação e o engajamento do jogador, ligadas diretamente ao jogo, como a competição; as dinâmicas (D) são aspectos gerenciados que não pertencem diretamente ao jogo, como por exemplo, os relacionamentos e; os componentes (C), são instâncias específicas de uma ou mais mecânicas ou dinâmicas, como por exemplo, tabelas de classificação. A interação do usuário com esses três elementos de um jogo no modelo MDC é chamada de estética. A Figura 4 ilustra o exposto.

O nível de abstração aumenta da base da pirâmide ao seu topo. Na base da pirâmide, encontramos os componentes do jogo, que podem ser definidos durante o seu *game design* (Conejo, 2019):

- Avatares: Utilizados como uma forma de personalização. Na maioria dos casos, são uma representação visual dos jogadores no sistema;
- Bens Virtuais: Itens/características que possuem algum valor, tanto em significado para o jogador como em dinheiro. Podem ser utilizados como personalização ou recompensa;
- Desbloqueio de Conteúdo: Algum aspecto do sistema que é liberado após o jogador realizar alguma atividade ou alcançar alguma meta;

Figura 4 – Representação hierárquica do modelo MDC.



Fonte: (Klock, 2017).

- **Emblemas**: São representações visuais das realizações do jogador, após este alcançar algum objetivo. Podem ser representados de várias formas, como troféus, medalhas e distintivos;
- **Missões**: São desafios, com objetivos específicos e fornecem uma recompensa ao jogador quando completos;
- **Níveis**: Identificam o progresso do jogador com base em sua experiência e/ou missões cumpridas e são geralmente atrelados a desafios. Podem funcionar como *feedback*;
- **Pontos**: Constituem uma representação numérica do progresso do jogador. Existem pontos de experiência, que recompensam o jogador pelas atividades realizadas; pontos de resgate, que servem como moeda de troca dentro do jogo; pontos de habilidade, que recompensam o jogador por realizar certas atividades; pontos de carma que recompensam o jogador por comportamentos altruístas e; pontos de reputação que indicam a confiança entre os jogadores;
- **Presentes**: Criam a possibilidade de compartilhar recursos (como itens por exemplo) com outros jogadores;
- **Tabelas de Classificação**: Exibem as conquistas e progresso do jogador, apresentando um novo desafio (superar outros jogadores) e estimulando a competição entre os jogadores.

Na camada das Mecânicas, encontram-se os processos responsáveis pela ação no jogo. Algumas das mecânicas importantes em um jogo são (Werbach; Hunter, 2012):

- **Desafios**: Quebra-cabeças ou tarefas que requerem esforço para serem resolvidos;

- **Chance:** Elementos estocásticos e probabilísticos no sistema que possuem como objetivo manter os jogadores realizando determinada tarefa, pois os mesmos têm chance de receber algo a mais em troca;
- **Competição:** Entre dois jogadores ou grupos de jogadores, um será o vencedor e o outro o perdedor, promovendo o relacionamento entre todos;
- **Cooperação:** Jogadores devem trabalhar juntos para vencer algum desafio ou alcançar um objetivo em comum, promovendo o relacionamento entre os jogadores;
- **Aquisição de recursos:** O jogador adquire itens dentro do sistema que podem ser utilizados pelo mesmo, presenteados a outros jogadores ou então podem ser recursos que identificam alguma conquista dentro do sistema;
- **Feedback:** Informação sobre o estado do jogador e como ele está se saindo;
- **Recompensas:** Benefícios entregues ao jogador por alguma ação ou realização dentro do sistema;
- **Transações:** Troca entre jogadores, que pode ser direta ou por algum intermediário;
- **Turnos:** Participação sequencial alternando os jogadores;
- **Estados de Vitória:** Objetivos que tornem um jogador ou grupo de jogadores vencedor.

Na camada mais abstrata, a camada das dinâmicas, encontramos o resultado cumulativo das estratégias utilizadas nas camadas anteriores, citando-se:

- **Regras:** Barreiras ou trocas forçadas no sistema que os jogadores não podem alterar;
- **Emoções:** Curiosidade, competitividade, frustração e felicidade são exemplos de emoções em um sistema gamificado, sendo sentimentos que influenciam seu comportamento;
- **Narrativa:** Uma história consistente que está em constante progressão e interliga os demais elementos de jogos;
- **Progressão:** O crescimento do jogador. A percepção que o jogador tem de seu desenvolvimento;
- **Relacionamentos:** Interações sociais que geram sentimentos de camaradagem, status e altruísmo.

A estética é o resultado da interação de todos os elementos do modelo MDC e é considerada como a experiência global do usuário ao interagir com o sistema gamificado (Werbach; Hunter, 2012).

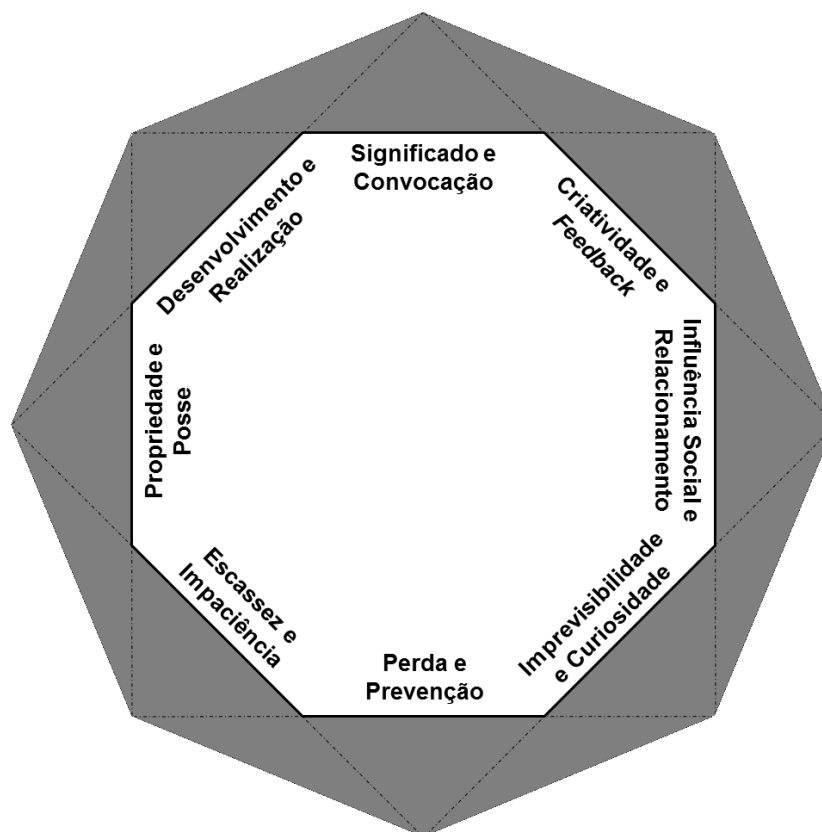
2.3 FRAMEWORKS DE GAMIFICAÇÃO

Nesta seção são introduzidos os *frameworks*: Octalysis (Chou, 2014), 5W2H (Klock *et al.*, 2016) e o 5W2H+M (Conejo, 2019).

2.3.1 Octalysis

O *framework* Octalysis (Chou, 2014) é resultado da observação do autor de que a maioria dos jogos de sucesso utiliza certos impulsionadores básicos internos que motivam as pessoas em direção a uma variedade de atividades e decisões. Dessa compilação, resultaram oito núcleos que servem para motivar o usuário a interagir com o sistema gamificado ou jogo. A Figura 5 mostra os 8 núcleos, formando um octógono.

Figura 5 – *Framework* Octalysis



Fonte:(Chou, 2014).

Esses núcleos são (Chou, 2014):

1. Significado Épico e Convocação: O usuário é motivado por achar que está fazendo algo grandioso, maior que ele mesmo, ou então que foi escolhido para realizar determinada tarefa;

2. Desenvolvimento e Realização: É a motivação interna de progredir, desenvolver habilidades e eventualmente vencer desafios;
3. Empoderamento da Criatividade e *Feedback*: O usuário fica engajado em um processo criativo onde descobre coisas novas e tenta diferentes combinações. É necessário que o usuário veja seu resultado e tenha um *feedback* de suas criações;
4. Propriedade e Posse: O usuário é motivado pela sensação de possuir ou controlar algo. É também expressada quando o usuário sente a propriedade sobre um projeto, processo e/ou organização;
5. Influência Social e Relacionamento: Motiva o usuário a partir de elementos sociais como aceitação, competição, companheirismo e inveja;
6. Escassez e Impaciência: Motiva o usuário a querer algo que é raro, exclusivo ou que não pode ter ou é difícil de se conseguir naquele momento;
7. Imprevisibilidade e Curiosidade: Motiva o usuário constantemente engajado pela vontade de saber o que acontecerá em seguida. Este núcleo é o associado ao vício por jogos;
8. Perda e Prevenção: Motiva o usuário a evitar alguma situação ruim ou negativa.

A motivação intrínseca é definida como a realização de uma atividade por sua satisfação inerente e não tem relação com causas externas. Quando intrinsecamente motivada, uma pessoa é movida a agir por diversão ou desafio do que por estímulos externos, pressões ou recompensas (Ryan; Deci, 2000).

A motivação extrínseca é promovida a partir de fatores externos. Ela é um construto que ocorre sempre que uma atividade é feita para atingir algum resultado desejável. A motivação extrínseca contrasta com a motivação intrínseca, que se refere a fazer uma atividade simplesmente pelo prazer da própria atividade, e não pelo seu valor instrumental (Ryan; Deci, 2000).

O lado esquerdo do octógono está associado à motivação extrínseca enquanto o lado direito do octógono está associado à motivação intrínseca.

A parte superior do octógono apresenta aspectos de gamificação que usam estímulos positivos e a parte inferior apresenta aspectos de gamificação usando estímulos negativos.

O *framework* é aplicado anotando-se ao lado de cada núcleo no octógono as atividades associadas àquele núcleo. Essas atividades são avaliadas para se verificar quão fortemente estão implementadas. Se o respectivo lado do octógono retrai em direção ao seu centro, esse aspecto é considerado fraco e o *designer* poderá atuar no sistema para sua melhoria (Chou, 2014).

2.3.2 5W2H

O *framework* 5W2H originou-se de uma proposta inicial de Klock et al. (2015) como um modelo conceitual para a gamificação de ambientes de *e-learning* e contemplava quatro dimensões principais: "quem", "por quê", "como" e "o quê" (Klock et al., 2015). Em trabalhos posteriores (Klock et al., 2016) (Klock, 2017) foram definidas, após a análise de diversos *frameworks* para gamificação, sete dimensões para a gamificação de sistemas computacionais. Embora seu estudo original fosse voltado para a gamificação de sistemas de aprendizado online,

seu *framework* proposto é generalizado o bastante para ser considerado em outros tipos de aplicação, inclusive na indústria. O *framework* considera 7 dimensões de análise, onde cada dimensão agrupa um conjunto de fatores semelhantes e que devem ser considerados durante uma gamificação de uma atividade ou processo. A Figura 6 ilustra a proposta. A seguir, cada dimensão é apresentada, como descrita em (Conejo, 2019).

Figura 6 – As sete dimensões do *framework* 5W2H



Fonte:(Klock, 2017).

1. "Quem?": Tem como objetivo identificar quais são os usuários que fazem parte do público alvo do sistema, apontando as características de cada um dos indivíduos que interferem na gamificação. Esta dimensão aborda características do usuário como sexo, idade, tipo de jogador, cultura e a meta que o usuário deseja alcançar;

2. "O Quê?": Tem como objetivo identificar quais são os comportamentos que o público-alvo deve realizar durante a interação com o sistema gamificado. Esta dimensão identifica as tarefas presentes no sistema e guia a criação de estímulos para que estas tarefas sejam realizadas e também para que os elementos de jogos inclusos sejam adequados;

3. "Por Quê?": Está relacionada com os estímulos que a gamificação deve gerar no usuário. Os estímulos abordados são a diversão, o engajamento e a motivação. A motivação é abordada de forma intrínseca ou extrínseca com duração de curto ou longo prazo. Abordando estes estímulos, pode-se persuadir o usuário para que ele mude seu comportamento;

4. "Quando?": Identifica quais são as situações adequadas para estimular o usuário a realizar as atividades desejadas. As situações possuem duas classificações: a jornada do jogador, que possui relação com a evolução do usuário e; a frequência de reforço, que se dá a partir da aplicação de reforços para motivar e manter o usuário motivado;

5. "Como?": É a dimensão onde é feita a escolha dos elementos de jogos com base no usuário, na atividade que será realizada, nos estímulos que se deseja gerar e na situação adequada. Os elementos de jogos abordados são os mesmos do método MDC;

6. "Onde?": Nesta dimensão, inicia-se a implementação dos elementos de jogos no sistema, utilizando-se de técnicas da área de IHC (Preece *et al.*, 2015), Engenharia de Software

(Sommerville, 2011) ou até mesmo ambas;

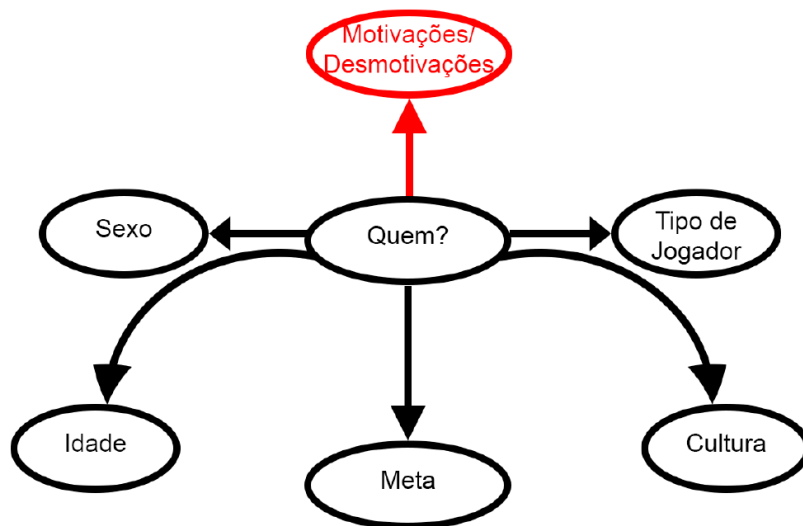
7. "Quanto?": É realizada a avaliação do quanto a gamificação do sistema conseguiu estimular os comportamentos desejados no usuário em determinadas situações.

Percebe-se pela Figura 6, que a saída do último estágio é realimentação para o primeiro, isto é, o sistema é continuamente aprimorado em função da avaliação feita a partir da primeira implementação e, ciclicamente, ao longo do processo, sempre que novas melhorias ou alterações são necessárias.

2.3.3 5W2H+M

O *framework* 5W2H+M (Conejo, 2019) é uma extensão do *framework* 5W2H. Ele incrementa as dimensões "Quem" e "Por quê" no contexto das motivações. Assim, na dimensão "Quem?" do 5W2H, além do estudo do contexto e perfil do usuário, que já estavam presentes no 5W2H, foi incluída a análise de possíveis aspectos que motivem ou desmotivem o usuário em um determinado contexto (Conejo, 2019). Na dimensão "Por Quê", além dos sentimentos de diversão, engajamento e dos aspectos de motivação já abordados pelo 5W2H, foram adicionadas as necessidades de autonomia, competência e pertencimento para se atingir a motivação intrínseca e extrínseca. As Figura 7 e Figura 8 explicitam as inclusões em relação à proposta original do *framework* 5W2H, sendo as inclusões marcadas em vermelho.

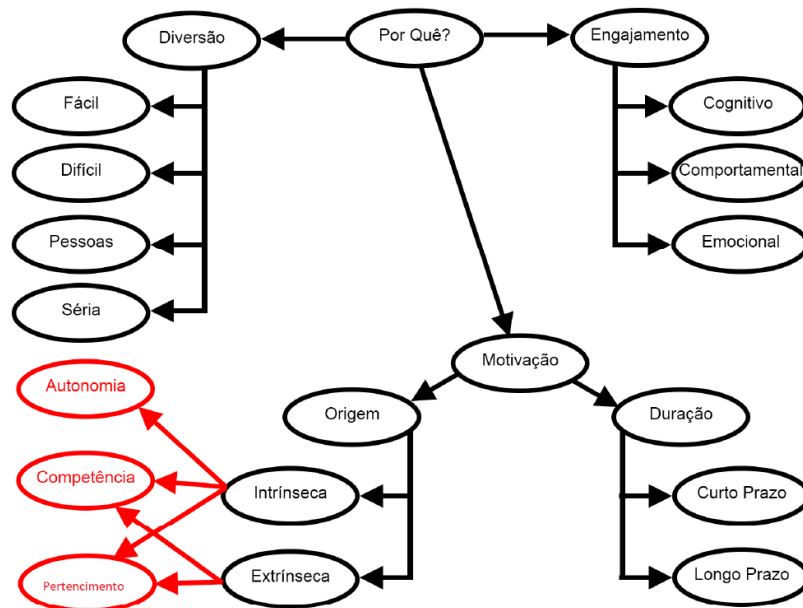
Figura 7 – Inclusão de aspectos motivacionais na dimensão "Quem" do *framework* 5W2H



Fonte:(Conejo, 2019).

Esses complementos adicionados, no contexto das motivações, estão relacionados com a Teoria da Auto-determinação (*Self-Determination Theory* ou SDT) (Deci; Ryan, 85).

Figura 8 – Complemento das motivações na dimensão "Por Quê" do *framework* 5W2H



Fonte: (Conejo, 2019).

2.3.4 Frameworks para avaliação dos tipos de jogadores

Bartle (1996), analisando o comportamento de jogadores de *games*, definiu 4 perfis: *Achievers (Realizadores)*, *Socializers (Socializadores)*, *Explorers (Exploradores)* e *Killers (Matadores)* (Bartle, 1996). De forma resumida, os jogadores do tipo realizadores desejam registrar seus resultados, os jogadores do tipo socializadores desejam colaborar, os do tipo exploradores desejam compreender e os do tipo matadores querem vencer. De acordo com a análise dos eixos, Bartle descobriu que realizadores e exploradores estavam mais interessados no mundo do jogo (ambiente) do que em outros jogadores, enquanto os matadores e socializadores eram mais inclinados a se concentrar nos jogadores. Quando se voltam para o outro eixo, matadores e realizadores estavam ativamente interessados em atuar, enquanto socializadores e exploradores preferiam interagir em um ambiente de gamificação (Liu; Idris, 2019).

Marczewski (2013) complementa o trabalho de Bartle, estendendo seu modelo bidimensional para um modelo tridimensional, criando na análise novos tipos de jogadores, quando inclui um novo eixo relacionado às motivações intrínseca e extrínseca (Marczewski, 2013). Os oito pontos do “cubo” de gamificação definem diferentes tipos de usuário: filantropos, socializadores, espíritos Livres, empreendedores, autobuscadores, consumidores, exploradores e *networkers*. A partir desse modelo, Marczewski fundiu os últimos quatro tipos em um único tipo de jogador e um novo tipo, o disruptor, foi adicionado, formando o *Hexad* como hoje é conhecido. Neste modelo básico do *Hexad* existem seis tipos de usuários. com quatro tipos com motivações intrínsecas: realizador, socializador, filantropo e espírito livre. Eles são motivados por relacionamentos, autonomia, domínio e propósito. Os outros dois tipos, cujas motivações são um pouco menos

evidenciadas, são o disruptor e jogador (Tondello *et al.*, 2016), (Tondello *et al.*, 2019).

Outros *frameworks* foram propostos na literatura, como a tipologia *BrainHex*, que associa os tipos de jogadores a reações neurobiológicas, definindo sete tipos: realizadores (dopamina), conquistadores (norepinefrina e testosterona), aventureiros (epinefrina), mentores (dopamina), buscadores (endomorfina), sobreviventes (adrenalina, dopamina) e socializadores (oxitocina) (Nacke *et al.*, 2014), a tipologia de Ferro e outros (Ferro *et al.*, 2013), a tipologia *Big Five* ou OCEAN (*openness, conscientiousness, extraversion, agreeableness e neuroticism*), passando por Jung, Myer-Briggs e o Eneagrama (Ferro *et al.*, 2013). Esses estudos evidenciam que a modelagem do usuário de um sistema de gamificação não é tarefa trivial e que ainda se buscam formas eficientes de se executar esta parte importante da gamificação.

Gamificação sob medida ou personalizada corresponde a qualquer combinação de informações ou mudança de estratégia para atingir as necessidades e preferências dos indivíduos de acordo com o seu perfil (Klock *et al.*, 2020). A personalização é um método onde o conteúdo é gerado pelo sistema de acordo com os gostos individuais, enquanto a adaptação é uma forma de personalizar a interação a diferentes usuários no mesmo contexto. O modelo de usuário é a base para essas mudanças, uma vez que armazena dados capturados explícita e implicitamente (por exemplo, objetivos, necessidades, preferências e intenções) (Klock *et al.*, 2020).

Naik e Kamat (2015) propõem que a adaptação pode ser classificada em implícita ou explícita. Na gamificação implícita, o sistema coleta informações automaticamente, com base nas ações e no comportamento do usuário do sistema. Como exemplo de atributos comumente capturados, têm-se capacidade cognitiva e nível de conhecimento. Na gamificação explícita, as informações são coletadas com base no preenchimento de um questionário para se detectar as características de cada usuário, individualmente (Naik; Kamat, 2015).

No entanto, embora a personalização seja um tipo de adaptação que responde apenas ao modelo do usuário, técnicas de adaptação consideram também outros modelos, como o domínio da aplicação e a tarefa (Klock *et al.*, 2020), relevantes em ambientes industriais.

Segundo Kamunya et al. (2019), a gamificação adaptativa pode ser de três tipos: adaptativa estática, adaptativa dinâmica e híbrida (Kamunya *et al.*, 2019).

- A gamificação adaptativa estática é aquela em que o perfil do usuário é definido previamente por meio de questionários;
- A gamificação adaptativa dinâmica é aquela em que o sistema reconhece automaticamente o usuário através de várias abordagens como por exemplo, usando os dados que o usuário gera e como ele interage com o sistema. A descoberta desse perfil pode ser feita uma única vez ou continuamente através do uso do sistema;
- A gamificação híbrida é aquela em que as duas gamificações adaptativas descritas são utilizadas simultaneamente, começando com a gamificação adaptativa estática e depois atualizando o perfil do usuário à medida que este usa o sistema.

O MSL de Kamunya et al. (2019), que resultou em 23 artigos, mostra que 57% deles utilizou gamificação adaptativa estática, 39% utilizou gamificação adaptativa dinâmica e 4% (um artigo) utilizou gamificação adaptativa híbrida (Kamunya *et al.*, 2019).

Monterrat et al. (2014) introduzem o conceito de funcionalidades epífitas, consideradas aplicações que estão agregadas a outras aplicações mas que não são necessárias para que a aplicação-hóspede funcione corretamente (Monterrat *et al.*, 2014). Segundo os autores, um sistema epífita tem três características: a) a aplicação epífita não pode existir sem a aplicação-hóspede; b) a aplicação-hóspede pode existir sem a aplicação epífita e; c) a aplicação-hóspede e a aplicação epífita têm existências independentes (Monterrat *et al.*, 2014).

O conceito de gamificação epífita (Monterrat *et al.*, 2014) pode ser útil em contextos industriais, onde a gamificação não é a atividade fim e, em certos casos, precisa estar apenas agregada mas não incorporada ao sistema principal da linha de montagem, de modo que possa ser suprimida a qualquer momento, sem que a aplicação-hóspede sofra descontinuidades, permitindo que a linha de montagem continue funcionando normalmente.

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados os conceitos para embasar a implementação do modelo conceitual que será proposto no Capítulo 4. Apresentou-se inicialmente o conceito de RA e como ela é percebida no espectro definido como contínuo de Milgram. Nota-se que o conceito de RA iniciou-se como uma derivação da Realidade Virtual (RV) mas percebe-se que ao longo dos anos, se distancia dessa condição por, contrariamente à RV, permitir ao usuário a percepção do ambiente real enquanto interage com objetos virtuais inseridos nesse ambiente. A inserção desses objetos levou ao desenvolvimento de técnicas de registro e rastreamento que evoluem paralelamente à evolução tecnológica dos dispositivos de RA utilizados.

Em relação à gamificação, observou-se que ela utiliza elementos de jogos para motivar e obter comportamentos desejados dos usuários. Nesse contexto, devido ao grande número de elementos de gamificação, já se antevê a necessidade de critérios para a escolha de quais elementos seriam os mais eficientes para um desejado tipo de resultado esperado. Esses resultados extrapolam o campo tecnológico para adentrar as áreas do comportamento humano diante de determinados ambientes e estímulos.

Outro aspecto que se nota na gamificação em ambientes de linhas de montagem manuais, é a prioridade na execução da tarefa, que limita a atuação da gamificação até o ponto em que ela não interfira no desempenho do trabalho de montagem sendo realizado.

Observa-se com a análise dos trabalhos mais recentes, uma tendência de tornar a gamificação adaptada ao perfil do usuário, com o propósito de se atingir os objetivos com mais eficácia.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Apesar do interesse crescente na pesquisa de RA para a indústria ter aumentado nos últimos anos (Cardoso *et al.*, 2019), até o momento não se definiu na literatura científica um conjunto padronizado de diretrizes de projeto para essa área específica. Diretrizes (*guidelines*) são conselhos ou regras gerais obtidos por experiências anteriores relacionadas ao assunto em análise, que permitem estabelecer os requisitos do sistema antes de se iniciar seu projeto. Como essas diretrizes que se propõe buscar são para uso geral, elas podem ser usadas em um novo projeto de sistema de RA.

O Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL) visa reunir e sintetizar evidências para fornecer uma visão geral de uma determinada área (Petersen *et al.*, 2015) e foi utilizado para se encontrar essas diretrizes de projeto para sistemas de RA para a indústria.

3.1 MAPEAMENTO SISTEMÁTICO TERCIÁRIO DA LITERATURA

Um MSL contém as etapas de definição da pergunta, busca das evidências, revisão e seleção dos estudos, análise da qualidade metodológica dos estudos e apresentação dos resultados obtidos (Petersen; Ali, 2011). Quando o MSL utiliza como entrada de sua pesquisa estudos individuais (estudos primários), seu resultado é um estudo secundário. Quando vários MSL são utilizados como fonte de busca, temos um estudo terciário (Kitchenham; Charters, 2007). Uma desvantagem de se utilizar estudos secundários no MSL é a pequena quantidade de estudos obtidos. Por outro lado, para se obter *guidelines* de uma determinada área de estudo, estudos terciários tornam-se vantajosos, uma vez que elementos comuns dos estudos podem se apresentar, indicando características consensuais de projeto.

Sabia-se *a priori* da existência de artigos de revisão de literatura que haviam abordado o uso da RA na indústria (Egger; Masood, 2019), (Cardoso *et al.*, 2019). Julgou-se que outra revisão de literatura traria os mesmos artigos encontrados nas revisões de literatura já realizadas. Assim, a estratégia adotada foi a de compilar essas revisões e verificar se elas poderiam fornecer *insights* sobre diretrizes de projeto de sistemas de RA para essa área.

O presente MSL (Agati *et al.*, 2020) foi baseado no método proposto por Petersen et al. (Petersen *et al.*, 2008), (Petersen; Ali, 2011) (Petersen *et al.*, 2015). O método é composto das seguintes etapas:

- Definição das questões de pesquisa;
- Realizar a busca dos estudos primários;
- Utilizar critérios de exclusão e inclusão para os artigos relevantes;
- Leitura dos resumos e levantamento de palavras-chave;
- Extração dos dados e mapeamento dos estudos;

- Análises comparativas e discussões.

Nesta pesquisa, trocaram-se os estudos primários por estudos secundários. Além dos artigos encontrados na pesquisa, foram incluídos artigos referenciados nas revisões e artigos referenciados pelas publicações revisadas. O MSL foi realizado em fevereiro de 2020 para se encontrar revisões de literatura sobre RA na indústria no período dos 5 anos anteriores e que estivessem relacionadas com linhas de montagem manuais, para se identificar quais foram os tipos de abordagens utilizadas para o uso da RA nesse contexto e como se chegou a tais abordagens.

A pergunta de pesquisa foi:

RQ: Quais são as diretrizes usadas para se criar sistemas de linhas de montagem manuais baseadas em RA?

Os Critérios de Exclusão (CE) foram:

- revisões com menos de 4 páginas;
- não é um artigo com acesso aberto ou via CAPES;
- não é um artigo revisado por pares;
- não é um artigo escrito em inglês;
- artigos com mais de cinco anos (2015 a 2019).

Os Critérios de Inclusão (IC) foram:

- é um trabalho de mapeamento, revisão ou meta-análise da literatura;
- é um artigo de revisão relacionado à RA na indústria.

Os seguintes mecanismos de busca foram usados: *ACM Digital Library*, *IEEE Xplore*, *Scopus*, *Web Of Science* e *Google Scholar*. Os quatro primeiros buscadores foram selecionados por estarem relacionados ao tema da pesquisa e por estarem entre os melhores buscadores acadêmicos, dada sua busca, refinamento e recursos auxiliares (Buchinger *et al.*, 2014). A frase de busca utilizada foi:

"augmented reality"AND (assembly OR maintenance OR maintainance) AND (survey OR overview OR review OR metaanalysis OR meta-analysis OR systematic)

Foi necessário ajustar a frase de busca para executar a pesquisa no *Science Direct* para se acomodar à regra de não ter mais que 8 operadores booleanos lógicos na frase, ficando, para este mecanismo de busca:

"augmented reality"AND (assembly OR maintenance) AND (survey OR overview OR review OR meta-analysis OR systematic)

A Tabela 2 mostra o número de artigos encontrados em cada mecanismo de busca. Mais dois artigos foram incluídos, por meio de uma busca de entorno, analisando as referências apresentadas por cada revisão de literatura encontrada, sendo esta técnica denominada de *snowballing*. Todos os artigos encontrados no início do processo foram escritos em inglês e todos os artigos finais foram revisados por pares.

Tabela 2 – Artigos de revisão encontrados sobre montagem usando RA

MBA	Início	CE <4pág	CE !Aberto	CI é RA	CI é Revisão	Total
ACM DL	12	12	12	12	0	0
IEEEExplore	32	32	2	0	0	0
WoS	60	60	26	21	1	1
Scopus	89	89	23	8	1	1
SDirect	151	-	16	0	0	0
GScholar	50	50	49	25	10	10
Snowballing						2
Total	394	243	128	66	12	14

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

A lista final das revisões encontradas é: (Funk *et al.*, 2016); (Manuri; Sanna, 2016); (Wang *et al.*, 2016); (Kim *et al.*, 2017); (Werrlich *et al.*, 2017); (Amo *et al.*, 2018); (Damiani *et al.*, 2018); (Giunta *et al.*, 2018); (Lamas *et al.*, 2018); (Palmarini *et al.*, 2018); (Bottani; Vignali, 2019); (Cardoso *et al.*, 2019); (Cohen *et al.*, 2019); (Egger; Masood, 2019).

3.2 ASPECTOS DAS REVISÕES E DIRETRIZES ENCONTRADAS

Nas subseções seguintes são apresentados os aspectos relevantes de cada revisão que foram considerados úteis no contexto da montagem manual baseada em RA, bem como as diretrizes encontradas. Embora alguns artigos não apresentassem diretrizes de forma explícita, pode-se identificar considerações que permitem a inferência de diretrizes de projeto.

3.2.1 Áreas de Aplicação da RA

Manuri e Sanna (2016) dividiram suas análises em montagem, manutenção e reparo. Eles justificaram o uso da RA pela alta carga cognitiva dos operadores para alternar entre manuais impressos ou eletrônicos e a tarefa sendo executada, induzindo a mais erros e custos ao processo de fabricação (Manuri; Sanna, 2016). Eles citaram o uso de sistemas de telepresença, onde um especialista remoto pode dar suporte interativo aos mantenedores quando o auxílio fornecido

via RA não é suficiente. Os autores apontaram que os aplicativos de RA são bastante rígidos para alterar/adaptar o conteúdo aumentado às necessidades dos usuários; que as ferramentas de autoria são muito limitadas e personalizadas para poucos campos de aplicação; que não existe um padrão para se descrever os conteúdos de RA, limitando-se os artigos à integração das tecnologias de RA. Eles comentaram que a linguagem de marcação de realidade aumentada ARML (*Augmented Reality Markup Language*) não foi aceita pelos fabricantes de tecnologias de RA. Nenhuma diretriz explícita foi encontrada nesta revisão.

3.2.2 RA em Montagem

Wang et al. (2016) descreveram uma arquitetura típica para um sistema de montagem usando RA com seis módulos funcionais: captura de vídeo; análise e processamento de imagens; processo de rastreamento; manipulação de interação; gerenciamento de informações de montagem e; renderização (Wang *et al.*, 2016). Eles classificaram os aplicativos em 3 grupos principais, com base no ciclo de vida do desenvolvimento de produtos de RA: design e planejamento, orientação de operação e treinamento. Eles sugeriram que novos trabalhos de RA para montagem deveriam considerar os seguintes tópicos (que foram considerados diretrizes para esta pesquisa, exceto o primeiro, uma vez que a tecnologia de visão computacional está implícita nos softwares de geração de RA embutidos como, por exemplo, o Vuforia):

- Tecnologia avançada de visão computacional para capturar a cena do espaço de trabalho 3D, para permitir a reconstrução 3D em tempo real com alta precisão;
- Padronização do conhecimento de montagem para permitir estruturas de dados intercambiáveis entre diferentes sistemas de montagem usando RA;
- O sistema projetado deve considerar o estado mental do usuário para induzir um fluxo de trabalho com menor carga cognitiva;
- Interfaces de sistema de usuário intuitivas, que não requerem calibração e nem dispositivos acoplados, permitindo a interação do usuário com gestos naturais;
- Sistemas de montagem colaborativos usando RA para facilitar o processo de desenvolvimento de produto.

3.2.3 Aspectos de Tecnologia de RA

Kim et al. (2017) apresentaram uma pesquisa bibliográfica preocupada principalmente com questões técnicas, para concluir que as principais áreas incluíam rastreamento, interação, calibração e exibição (Kim *et al.*, 2017). Áreas relacionadas ao rastreamento visual de SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*), renderização realista com um efeito 3D, RA móvel em tempo real, RA externa e colaboração em RA tornaram-se tópicos de pesquisa de tendências naquele momento. Embora seja uma revisão técnica abrangente, a contribuição para esta pesquisa

é limitada, visto que a tecnologia cresceu em ritmo acelerado nos últimos anos. Nenhuma diretriz explícita foi encontrada.

3.2.4 RA para Treinamento de Montagem e Manutenção

Werrlich et al. (2017) fizeram uma revisão geral abrangente das avaliações de sistemas usando RA para tarefas de treinamento de montagem e manutenção (Werrlich *et al.*, 2017). O foco de sua pesquisa era encontrar estudos de usuários e diretrizes de projeto para treinamento baseado em RA. Eles encontraram 17 artigos relevantes com foco na avaliação do usuário e sete recomendações para design de interface de usuário.

Eles sugeriram três grupos de diretrizes gerais de design: o primeiro grupo de diretrizes está na DIN EN ISO 9241-110 (Standardization, 2020), que estabelece sete heurísticas para o design da interface do usuário; o segundo grupo de diretrizes está nos princípios de Nielsen e Molich (Nielsen J.; Molich, 1990) e nas “8 Regras de Ouro do Design de Interface” (Shneiderman *et al.*, 2016), usados principalmente no projeto de interfaces de software e que podem ser replicados para dispositivos e sistemas de RA; o terceiro grupo de diretrizes veio dos artigos pesquisados e é mostrado a seguir:

- Integração de dados reais: comece a usar dados reais desde o início do projeto porque o sucesso em cenários de demonstração não garante o sucesso em um ambiente real;
- Aceitação: muito cuidado deve ser feito com a aplicação inicial, realizada *in loco* com o auxílio de pessoas-chave que são influenciadoras entre seus colegas. Essas pessoas devem estar o mais próximas possível e em cooperação com os pesquisadores de RA. Use uma “configuração de ilha” ao lado da linha de produção com uma configuração de usuário único e tarefa única;
- Simplicidade: implemente uma solução simples ao invés de um aplicativo com o mais alto nível de originalidade ou novidade;
- Valor Adicionado: comece delineando o Retorno do Investimento (ROI). Estime fatores como economia de tempo e custo.

Em relação às habilidades de procedimento (a capacidade de um operador de seguir uma tarefa passo-a-passo), as seguintes recomendações foram listadas:

- Recursos visuais: utilize recursos visuais adaptativos que podem ser diretos (onde a informação é apresentada de forma permanente) ou indiretos (onde a informação é apresentada apenas quando o usuário precisa). Instruções claras e detalhadas no início, reduzindo gradativamente a cada ciclo de montagem, considerando o processo de aprendizagem em três fases: cognitiva, associativa e autônoma;

- Construção do Modelo Mental: informações de contexto, como barras de progresso, podem ajudar a criar uma construção do modelo mental para apresentar pré e pós-condições da tarefa;
- Aprendizagem Passiva: para ajudar o usuário a ter uma visão global de toda a tarefa, deve haver um momento em que o treinando não esteja ativo e receba apenas informações sobre a tarefa;
- Dicas tácteis: use uma abordagem multimodal para apoiar a memória humana e, portanto, o treinamento de montagem;
- Carga de trabalho mental: a quantidade ideal de informação a ser entregue para usuários novatos foi de quatro a cinco informações ao mesmo tempo.

3.2.5 Transferência de Conhecimento em Manutenção

Amo et al. (2018) focaram 3 aspectos em sua revisão, ao se usar RA no contexto de manutenção: autoria, consciência do contexto e análise de interação (Amo *et al.*, 2018). A autoria é definida como "técnicas de software que visam criar conteúdo aumentado e exibi-lo adequadamente no mundo real". A consciência de contexto é definida como "técnicas de software que visam usar informações contextuais para caracterizar conteúdo aumentado". A análise de interação é definida como "técnicas de software que analisam o status da interação entre o usuário e o conteúdo aumentado, para fornecer *feedback* relevante e/ou melhorar a interação". Eles apresentaram os conceitos de transferência e captura de conhecimento e citaram que a generalidade das representações do domínio do conhecimento pode ser vista como um indicador da eficácia da transferência de conhecimento. A diretriz encontrada nesta revisão foi:

- Quanto mais fácil representar o conhecimento, mais fácil será transferi-lo efetivamente

3.2.6 Aplicações de RA e RV na Indústria

Damiani et al. (2018) apresentaram uma revisão qualitativa das aplicações de RA e Realidade Virtual (RV) para produtos de manufatura (Damiani *et al.*, 2018). O setor mais beneficiado foi a indústria de transformação, onde o treinamento virtual e a manutenção foram considerados as principais aplicações. A terceira aplicação mais utilizada foi na tomada de decisão. Eles resumiram as principais vantagens decorrentes da aplicação desta tecnologia como sendo:

- Controle da planta de produção e diagnóstico de erros;
- Segurança e proteção dos sistemas de produção;
- Melhoria das atividades de planejamento, incluindo correspondência de recursos;

- Projeto e reconfiguração do produto;
- Fornecimento da informação necessária ao nível operacional e empresarial;
- Melhoria da cooperação homem-máquina;
- Ensinar aos trabalhadores tarefas complexas de maneira mais segura para aumentar sua produtividade.

As seguintes diretrizes foram encontradas:

- O aplicativo deve ser capaz de selecionar o conteúdo fornecido ao usuário de forma adequada, com base em suas demandas e situações ocorridas;
- Adoção de conteúdos hierárquicos, que podem ser mostrados no dispositivo de diferentes formas, dependendo de sua importância.

3.2.7 Projeto de RA

Giunta et al. (2018) apresentaram uma revisão da literatura de projeto de RA e mapearam esta pesquisa em relação ao tipo de tecnologia de RA e ao estágio no processo de projeto (Giunta *et al.*, 2018). Eles classificaram os estágios do projeto em seis etapas: tarefa, especificação do projeto, conceito, layout preliminar, layout definitivo e documentação do produto. Concluíram que nem todas as etapas do processo de projeto foram apoiadas por aplicativos de RA, sendo a "tarefa" a etapa mais omitida e que a RA como ferramenta de projeto ainda não foi totalmente explorada. Eles concluíram que os estágios de conceito, *layout* preliminar e *layout* definitivo do processo de projeto, são as áreas atualmente mais investigadas, enquanto os estágios de tarefa, documentação do produto e especificação de projeto são as áreas menos investigadas. Nenhuma diretriz baseada em RA foi encontrada neste artigo.

3.2.8 RA para a Indústria de Estaleiros 4.0

Lamas et al. (2018) estudaram aplicações de RA na indústria de estaleiros, que está se movendo para os princípios da Indústria 4.0 (Lamas *et al.*, 2018).

Foi o único artigo de revisão a considerar o fato de que houve contratações em massa durante as décadas de 1960 e 1970 e os trabalhadores estão atualmente se aposentando, levando consigo toda a experiência, conhecimento e habilidades acumuladas. Como o treinamento presencial não é possível, uma solução poderia ser a inclusão desse conhecimento legado em aplicativos para treinar novos trabalhadores.

Eles sugeriram um conjunto de diretrizes para desenvolver uma aplicação de RA de sucesso:

- Os casos de uso e as aplicações selecionados devem fornecer serviços de valor agregado;

- Evitar descontinuidades funcionais ou lacunas nos modos de operação que possam afetar a funcionalidade;
- Reduzir descontinuidades cognitivas ou diferenças entre antigas e novas práticas de trabalho. O aprendizado de novos procedimentos pode dificultar a adoção da tecnologia;
- Reduzir os efeitos colaterais físicos causados pelos dispositivos nos usuários a curto e longo prazo (por exemplo, dores de cabeça, náuseas ou perda de acuidade visual);
- Evitar efeitos imprevisíveis dos dispositivos em usuários não familiarizados com a tecnologia, como distrações, surpresas ou choques;
- Levar em consideração a percepção do usuário quanto às questões ergonômicas e estéticas;
- Tornar a interação com o usuário a mais natural e amigável possível, evitando lapsos ou inconsistências.

No tocante aos dispositivos de hardware, os autores descobriram que os *Head-Mounted Displays* (HMDs) foram preferidos em vez de *smartphones* ou *tablets*, permitindo operação com as mãos livres e evitando distrações. O uso da Realidade Aumentada Espacial (SAR), que consiste em projetar informações gráficas sobre objetos reais, não é indicado devido ao tamanho de objetos em um estaleiro. Eles listaram as principais características que os *smart-glasses* devem ter ao se implementar aplicativos para fábricas inteligentes:

- O campo de visão deve ser o mais amplo possível, sendo 30 ° (horizontalmente) o mínimo recomendado para uma boa experiência do usuário;
- Como os óculos inteligentes devem ser usados durante todo o dia, eles devem ser o mais leve possíveis;
- As baterias devem durar toda a jornada de trabalho;
- As tecnologias de exibição *video see-through* devem ser evitadas, pois podem causar atrasos que prejudicam a experiência do usuário. As projeções óptica (*optical see-through*) e retiniana são recomendadas;
- A interação baseada em voz é recomendada para liberar as mãos do operador, mas atualmente é um desafio fazê-la funcionar adequadamente em ambientes industriais ruidosos. Citaram restrições para a indústria de estaleiros: interferência elétrica devido ao maquinário industrial (estando o navio em construção ou não); sinais GPS (*Global Positioning Systems*) ou *wi-fi* usados para localizar um usuário ou uma sala (em ambientes fechados ou dentro de um navio em construção, eles podem não funcionar corretamente).

Com relação às ferramentas de desenvolvimento de software para RA industrial, algumas características foram consideradas necessárias:

- Bibliotecas gráficas 2D e 3D, que devem permitir a visualização em tempo real e sobrepor elementos virtuais no campo de visão;
- Mecanismos de rastreamento para poder seguir objetos ou sobrepor informações sobre eles;
- Reconhecimento de fala, útil quando o usuário não consegue interagir com os controles físicos. O reconhecimento de gestos também é útil quando o ruído ambiente impede o reconhecimento de voz;
- Reconstrução de ambientes 3D para entender o entorno;
- Elementos virtuais 3D sobrepostos (com ou sem marcadores de RA).

3.2.9 RA na Manutenção Industrial

A revisão de Palmarini et al.(2018) está relacionada ao uso de RA no contexto de manutenção industrial (Palmarini *et al.*, 2018). Eles dividiram o campo de aplicações em 6 categorias. Manutenção mecânica (29%) e manutenção de plantas (21%) foram as principais áreas de aplicação, seguidas por tecnologia de consumo (17%), indústria de aviação (17%), indústria nuclear (8%) e aplicativos remotos (8%). Os autores destacaram que o serviço e a manutenção são atividades móveis por necessidade, portanto, um apoio móvel é necessário. Outra observação é que para a área de manutenção de instalações, é importante localizar o alvo a ser mantido. Eles mencionaram que para a indústria automotiva, o reparo e a manutenção representam 40% dos custos totais ao longo da vida do veículo.

Com relação às operações de manutenção, eles descobriram que 33% dos artigos são relacionados a processos de montagem/desmontagem, 26% relacionados a reparos, 26% relacionados a inspeção e diagnóstico e 15% relacionados a treinamento. Eles justificaram o baixo percentual em operações de treinamento como uma característica da aplicação de RA no ambiente: a RA reduz o treinamento e propõe uma solução que afeta diretamente a operação de manutenção, permitindo que os mantenedores tenham capacidade imediata para realizar a tarefa.

Em relação aos métodos de visualização de objetos, eles descobriram que 40% dos artigos usavam visualização dinâmica 2D/3D, 26% usavam visualização estática, 26% usavam visualização de texto e 8% usavam áudio em vez de auxílio visual.

Com relação à tecnologia de rastreamento, eles descobriram que 52% dos artigos usaram rastreamento baseado em marcador, 19% usaram rastreamento baseado em modelo, 19% usaram rastreamento baseado em recursos e 10% usaram outras tecnologias. No entanto, para o ambiente industrial, a abordagem baseada em marcadores não é adequada porque há objetos que obstruem a

visão do marcador e os marcadores devem estar limpos e não danificados. Em algumas situações, a tecnologia de marcador natural (imagens que já existem no ambiente) pode ser adequada.

Autoria é o processo de criação de conteúdo digital para RA. Eles descobriram que a autoria é mencionada em 64% dos artigos. Para os autores, a autoria envolve os conceitos de entidade, entidade externa, ações, manutenção e operação. Anotações virtuais para um ambiente real são usadas por 8% dos sistemas de autoria. Um processo automatizado consiste em extrair automaticamente os procedimentos de desmontagem combinando as informações do módulo de planejamento da desmontagem e as restrições do modelo CAD. Os sistemas de autoria feitos por um processo automatizado, aplicados apenas aos procedimentos de montagem e desmontagem, representavam 4 % dos sistemas de autoria. As seguintes diretrizes foram encontradas:

- Para implementar a RA na indústria, o sistema de RA deve ser fácil de manter e modificar;
- Os sistemas de AR devem ser adaptativos, capturando as intenções do usuário ao realizar uma operação e devem coletar os dados de qualquer procedimento. As informações coletadas podem ser utilizadas para melhorar o processo de treinamento ou o próprio procedimento de manutenção.

3.2.10 RA na Indústria de Manufatura na Última Década

O objetivo do artigo de Bottani e Vignali (2019) foi classificar a literatura sobre RA na indústria de manufatura (Bottani; Vignali, 2019). Inicialmente, eles categorizaram os artigos em quatro tipos: artigos de revisão (8,63%), conceituais (11,49%) técnicos (39,65%) e de aplicação (40,23%). Eles distinguiram artigos técnicos de documentos de aplicação, sendo os primeiros mais relacionados ao desenvolvimento, testes e calibração de hardware, enquanto os segundos sendo mais relacionados ao desenvolvimento, implantação e possivelmente teste do sistema AR.

Eles descobriram que 69% (110 de 174) dos artigos foram publicados nos últimos 5 anos. As tarefas mais investigadas foram: montagem, manutenção, projeto, segurança/ergonomia e logística alimentar.

A última categoria analisada foram os artigos de aplicação. Eles descobriram que os aplicativos de RA na indústria eram usados principalmente nas seguintes áreas: montagem, manutenção, projeto, fabricação, aplicativos móveis, modelos 3D e realidade virtual (RV).

Com relação à quarta categoria, campos de aplicação, ela foi analisada em diferentes grupos de artigos e em função do ano de publicação. Eles concluíram que montagem e manutenção foram os campos de aplicação mais populares da RA, visto que montagem foi mencionada em 15,09% dos artigos e manutenção em 14,65% dos artigos. Em seguida, os campos de aplicação mais estudados foram: treinamento/aprendizagem (12,5%), projeto de produto (7,33%), segurança (6,03%), assistência remota (5,17%) e telerobótica/robótica (5,60%). Mencionaram que alguns campos de aplicação citados nos artigos apareceram juntos: montagem e treinamento, manutenção e assistência remota, manutenção e treinamento, segurança e ergonomia, montagem e projeto de produto.

Quase metade dos artigos era prova de conceito de laboratório e estava mais relacionada a propostas técnicas. Eles destacaram que as questões de ergonomia foram tratadas apenas em ambientes de laboratório, sem nenhuma aplicação de caso real encontrada. Os autores descobriram que as soluções mais comuns para capturar cenas eram câmeras e HMDs. No entanto, a partir de 2010, houve uma maioria de soluções tecnológicas baseadas em *tablets* e *smartphones*, mas implicavam que o operador não tivesse as mãos livres para executar os procedimentos de montagem ou manutenção. Por esse motivo, soluções que liberavam as mãos foram propostas a partir de 2011. Os autores concluíram que câmeras, *HMDs* e *tablets/smartphones* foram os dispositivos mais utilizados nos campos de aplicação de RA com uma ligeira prevalência dos *HMDs* nas tarefas de montagem e manutenção, onde há a necessidade de dar ordens ao operador. Para dispositivos de rastreamento, eles concluíram que a tecnologia baseada em marcadores foi a solução mais frequentemente adotada (51,1% dos artigos).

Para revisar os resultados da implementação de RA, os autores classificaram os sistemas de RA como "não testados", "tecnicamente testados" e "testados pelo usuário", para descobrir que a maioria dos artigos (45,7%) fez um estudo de usuário comparando a solução de RA proposta com o método existente. Concluíram a revisão com as seguintes considerações: a análise quantitativa demonstrou que o tempo para completar uma tarefa e o número de erros diminuíram; os usuários frequentemente consideraram os sistemas de RA eficazes, intuitivos ou fáceis de usar. A diretriz encontrada nesta revisão foi que:

- É necessária uma avaliação econômica dos custos e economias gerados com a implantação da RA.

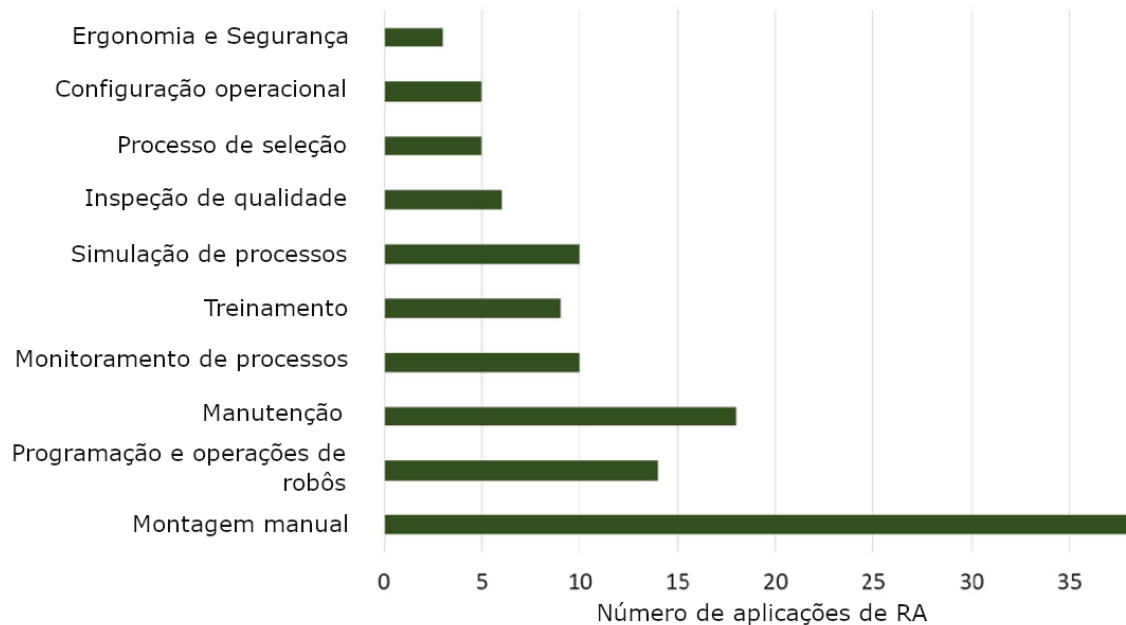
3.2.11 Impacto da RA nos Processos Industriais

Cardoso et al. (2019) avaliaram o impacto da RA nos processos industriais, identificando as razões pelas quais a tecnologia RA ainda não está presente na maioria das indústrias (Cardoso *et al.*, 2019). Eles apresentaram necessidades industriais, tendências de dispositivos de visualização e discutiram estruturas de desenvolvimento existentes.

Os autores agruparam a aplicabilidade do desenvolvimento de RA em 10 categorias: montagem manual, programação e operação de robôs, manutenção, monitoramento de processos, treinamento, simulação de processos, inspeção de qualidade, processo de separação, ergonomia de configuração operacional e segurança. “A maioria das aplicações de RA em ambientes industriais estava focada em processos de montagem manual e manutenção, fornecendo instruções de trabalho aos usuários sobre como executar uma atividade” (Cardoso *et al.*, 2019). O mesmo tipo de instrução foi encontrado em atividades de treinamento, inspeções de qualidade e processos logísticos de configuração de máquinas. Alguns artigos relacionados com ergonomia foram encontrados. A distribuição dessas aplicações é mostrada na Figura 9.

Eles encontraram trabalhos focados no processamento de informações usando RA para promover análises rápidas e tomadas de decisão no local. A maioria dos aplicativos não se

Figura 9 – Número de aplicações de RA por aplicação



Fonte: (Cardoso *et al.*, 2019), tradução nossa.

concentrou em um setor específico. As seguintes diretrizes foram encontradas:

- Os testes devem ser realizados em ambiente fabril ou simulando essas condições durante a operação;
- Devem existir ferramentas intuitivas para desenvolvedores de manufatura para criar e alterar o conteúdo de RA.

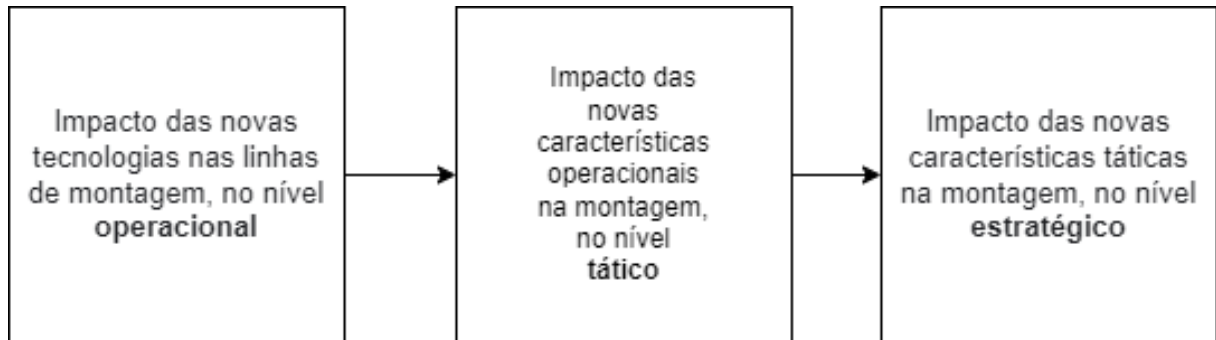
3.2.12 Montagem 4.0

Cohen *et al.* (2019) apresentaram o conceito de sistemas de Montagem 4.0 (A4.0), que é constituído por dispositivos que possuem a capacidade de se comunicarem entre si, registrando e trocando dados gerados por seus sensores (Cohen *et al.*, 2019). Após a revisão das novas tecnologias na I4.0 relacionadas ao processo de montagem, eles desenvolveram um conjunto de 3 etapas para apresentar seu roteiro, como mostra a Figura 10.

Em um sistema A4.0, robôs colaborativos (*cobots*) podem trabalhar com humanos de duas maneiras: compartilhando espaço ou tempo. Em ambos os casos, "interfaces visuais, gestuais e de voz são usadas junto com sistemas de *feedback* de força para habilitar a HMI (Interface Homem-Máquina) em tempo real" (Cohen *et al.*, 2019). Incluir RA neste tipo de cenário pode ampliar os sentidos humanos e permitir, por exemplo, a substituição de manuais impressos por visualizações, encurtando o tempo de aprendizagem e auxiliando na tomada de decisões.

Para linhas de montagem manuais, o uso da RA é particularmente benéfico para evitar que o trabalhador se distraia (a necessidade de consultar um manual ou monitor) enquanto

Figura 10 – A estrutura lógica e caminho de raciocínio da revisão.



Fonte: Adaptado de (Cohen *et al.*, 2019), tradução nossa.

realiza a tarefa. A introdução da RA em sistemas de montagem pode maximizar as capacidades cognitivas de um operador, fornecendo-lhe um *feedback* em tempo real.

Para o nível tático, eles citaram a adoção da I4.0 nas linhas de montagem. Primeiramente, eles delinearam novas características da Montagem 4.0 para apresentar questões que afetam o planejamento tático e a tomada de decisão, com base no trabalho de Bortolini *et al.* (2017): montagem auxiliada, gerenciamento de estoque inteligente, *layout* de estação de trabalho autoconfigurado, rastreabilidade de produto, rastreabilidade de processo, personalização tardia, controle em tempo real e autoprogramação/balanceamento (Bortolini *et al.*, 2017).

Com base nos paradigmas acima, eles descreveram as seguintes questões táticas: variação do produto em sistemas de montagem, planejamento do esforço de montagem, planejamento de força de trabalho, fornecimento de peças e materiais para permitir um processo de montagem eficiente, controle de qualidade e gerenciamento.

Com a implantação da Montagem 4.0, os autores destacaram os principais benefícios: agilizar e melhorar o trabalho de montagem do operador; ampliar a variedade de produtos montados; otimizar a aquisição e transporte do estoque; identificar falhas de máquina em tempo real; identificar as máquinas que promovem o gargalo da produção em tempo real; evitar falta de peças; redução da configuração e ajustes e; implantação de máquinas autoajustáveis com infraestrutura para melhores estações ergonômicas. As seguintes diretrizes foram encontradas:

- Incluir defesa cibernética de ponta e ações para garantir a privacidade das pessoas envolvidas (por exemplo, na União Europeia, deve-se consultar o Regulamento Geral de Proteção de Dados desde maio de 2018; no Brasil, a Lei Geral de Proteção de Dados - LGPD, de 14 de agosto de 2018, (Brasil, 2018));
- Adotar medidas de desempenho. Além das medidas de desempenho normais e aceitas usadas até agora em um projeto de manufatura e montagem, um novo conjunto de medidas precisará ser criado e usado;

- Avaliar Retorno sobre o Investimento (ROI). Esta é uma das principais preocupações de qualquer tomador de decisão: verificar se economicamente está fazendo a decisão certa.

3.2.13 RA como Apoio à Manufatura Inteligente

Egger e Masood (2019), com base nos artigos que revisaram, concluíram que montagem (43%) e manutenção (33%) foram os principais campos de aplicação estudados (Egger; Masood, 2019). É importante notar que, neste tipo de categorização, a logística aparece em terceiro lugar, em 12% dos artigos.

Em relação à tecnologia adotada, eles descobriram que, de um total de 96 artigos, 42 artigos citaram *HMD*, 34 artigos citaram *Hand-Held Device* (HHD), 16 artigos citaram tela estática, 9 artigos citaram projeção e 4 artigos citaram simulação de RV. Os artigos que utilizaram mais de uma tecnologia geralmente fizeram uma comparação entre elas.

Em relação aos testes realizados, eles concluíram que a maioria dos experimentos foi realizada em ambiente de laboratório. Os artigos compararam diferentes métodos de suporte de RA com métodos convencionais, como informações no monitor ou instruções em papel.

Em relação às métricas, as medidas encontradas nos artigos foram: tempo (39,5%), taxa de erro (30,2%), carga cognitiva medida pelo instrumento NASA-TLX (NASA, 2021), (Hart; Staveland, 1988) (17,4%), pesquisa do usuário (11,6%), distância de decodificação do marcador (4,7%), tempo de decodificação do marcador (2,3%), movimento da cabeça (2,3%) e local de solda (2,3%). A maioria dos estudos utilizou mais de uma medida, principalmente as três primeiras.

Para o campo da montagem, citaram trabalhos com os seguintes temas: atuação da RA em montagem e; montagem colaborativa humano-robô. Para a área de manutenção, foram citados os seguintes temas: tele-manutenção; operação de manutenção e; autoria. Para o campo da qualidade, citaram: a visualização dos dados de qualidade no local, por meio de RA; amostragem de produtos; aumento da capacidade de inspeção humana em um ambiente baseado em robótica. Para a área de logística, citaram os seguintes assuntos: processo de coleta (*picking*); sistemas comerciais de seleção por visão usando RA; separação de pedidos; RA em estantes de armazenamento altas; RA em paletização e embalagem. Eles concluíram sua revisão apresentando as áreas não totalmente exploradas que encontraram: velocidade de processamento; ergonomia; *software*; no nível do usuário; ao nível da empresa e; meio ambiente.

Eles concluíram que “embora a RA ainda não esteja pronta para implantação industrial em algumas áreas, ela já é utilizada em outras. As empresas estão testando e implementando soluções de RA para diferentes aplicações” (Egger; Masood, 2019). Os experimentos de campo não são apenas de interesse acadêmico. Os resultados também beneficiam a indústria de transformação. Questões organizacionais devem ser consideradas, principalmente a mudança de mentalidade de todas as partes interessadas. Outra questão considerada foi a limitação de hardware e software. Ainda são necessárias pesquisas nesses assuntos como as interfaces de usuário, para que o operador possa interagir intuitivamente com os sistemas de RA. As seguintes diretrizes foram

encontradas:

- Usar instruções adaptativas de forma dinâmica para melhorar a aceitação do usuário;
- Promover políticas de segurança e privacidade de dados para aumentar a aceitação do usuário;
- Aumentar a interoperabilidade com os sistemas existentes;
- Automatizar a autoria de conteúdo;
- Usar gestos com as mãos para interagir com os sistemas;
- Desenvolver interfaces de usuário para combater a fadiga visual;

3.2.14 Estudo de 4 Anos de RA com Montagem Industrial para a I4.0

O seguinte artigo encontrado não é uma revisão sistemática, mas foi considerado relevante o suficiente para contribuir com esta pesquisa que se decidiu incluí-lo nesta revisão.

Funk et al. (2016) descreveram uma interface para conectar trabalhadores e produtos digitais em cenários de trabalho interativos (Funk *et al.*, 2016). Eles construíram um sistema de assistência usando a projeção *in-situ* associada a um sistema de reconhecimento de atividades. O sistema projetava instruções em uma linha de montagem manual para ajudar os trabalhadores a realizar uma etapa de trabalho. Simultaneamente, o sistema era capaz de reconhecer as ações do trabalhador, por exemplo, pegar uma peça de uma caixa ou montar uma peça no transportador da peça. A experiência de operar tal sistema por 4 anos gerou as seguintes diretrizes:

- Manter o *feedback* simples: dois requisitos antagônicos devem ser considerados. Primeiro, as instruções devem conter todas as informações importantes que são relevantes para a tarefa. Em segundo lugar, as instruções devem ser as mais simples possíveis. O objetivo é encontrar uma solução que atenda a ambos os requisitos, com o menor comprometimento;
- Exibir *feedback* direto: um bom *feedback* deve ser exibido diretamente na posição onde uma ação é necessária, tornando-se mais rápido e com menor demanda cognitiva. O *feedback* exibido deve ser sensível ao contexto, para corresponder às ações executadas;
- Projetar para uso com as mãos livres: os sistemas assistivos devem ser projetados para não limitar os usuários na execução de suas tarefas. Ao ativar funções ou entrar em modos diferentes, telas sensíveis ao toque ou gestos devem ser usadas;
- Equipar o ambiente ao invés do usuário: os usuários não querem usar nenhuma peça adicional de tecnologia ao realizar uma tarefa de trabalho. Às vezes, eles saem da área de trabalho para realizar outras tarefas, tendo que tirar a tecnologia e colocá-la novamente ao retomar a tarefa. Além disso, se o sistema for colocado no ambiente, vários usuários podem se beneficiar do sistema;

- Procurar uma interação natural intuitiva, considerando dois cenários: interagir com o sistema regularmente e programar procedimentos ou *workflows* para o sistema. Os usuários que estão ensinando fluxos de trabalho ou procedimentos para sistemas assistivos podem não ter experiência em programação; podem ter problemas ao usar um computador ou; não podem lidar com uma interface gráfica de usuário complexa. Portanto, a interação com o sistema deve acontecer por meio de gestos ou voz;
- Projetar para *feedback* personalizado: o sistema deve oferecer a oportunidade de personalizar o *feedback* que é dado e ajustá-lo às preferências dos usuários. A visualização do contorno das peças mostrando as posições de montagem geralmente é a melhor forma de comunicar as instruções de montagem, mas ainda existem usuários que preferem assistir a um vídeo de montagem ou ver fotos da montagem. Uma combinação de *feedback* visual e tátil é um bom compromisso entre privacidade e percepção de erro para trabalhadores sem deficiência. Alguns usuários preferem *feedback* auditivo ao invés do *feedback* visual e tátil. Usuários com deficiência cognitiva gostam de receber *feedback* positivo após cada etapa de trabalho realizada;
- Permitir que o usuário controle a velocidade: é importante não apressar o usuário. Os usuários devem ser capazes de executar as etapas de acordo com seu próprio ritmo. Em outras palavras, todas as ações que antecipam instruções ou *feedback* devem ser acionadas pelo usuário e não pelo sistema. Isso reduzirá o estresse no local de trabalho. Além disso, o usuário deve ser capaz de pular uma etapa de trabalho ou repetir a etapa de trabalho anterior;
- Adicionar auto-informação quantificada motivadora: ocasionalmente, os participantes perguntavam quantos itens faltavam na tarefa atual e quão rápido eles eram. Isso pode ser tão simples quanto exibir uma barra de progresso ou mais complexo com uma interface que mostra qual trabalhador cometeu menos erros ou produziu mais peças. Isso pode ser considerado uma estratégia de gamificação para aprimorar os processos de trabalho de forma que os usuários possam sempre visualizar suas informações quantificadas de desempenho. Isso levará a um estado de maior motivação durante tarefas monótonas.

3.3 AGRUPANDO AS DIRETRIZES ENCONTRADAS

Depois de ler os artigos de revisão, selecionou-se quais informações poderiam ser consideradas diretrizes. Em seguida, as diretrizes foram agrupadas, de acordo com seu significado, em quatro categorias: diretrizes de usabilidade; diretrizes cognitivas; diretrizes de ergonomia, e; diretrizes de contexto corporativo. A Tabela 3 ilustra o obtido.

3.3.1 Diretrizes de Usabilidade

"Usabilidade é um atributo de qualidade que avalia a facilidade de uso das interfaces de usuário. A palavra 'usabilidade' também se refere a métodos para melhorar a facilidade de uso durante o processo de projeto"(Group, 2020).

A Interface do Usuário e o *feedback* fornecidos devem ser simples para não desviar a atenção do usuário da tarefa. As interfaces multimodais permitem várias entradas sensoriais para facilitar a interface humana. Conforme o usuário aprende a tarefa, o *feedback* pode ser adaptativo, respeitando seu ritmo e carga cognitiva de trabalho.

3.3.2 Diretrizes Cognitivas

"... Percepção, tomada de decisão, resolução de problemas, processos de memória, etc. são todas atividades cognitivas nas quais os seres humanos estão envolvidos todos os dias."(Brolin, 2016).

A implementação de um sistema de AR deve considerar os efeitos da transição entre o antigo e o novo processo. A transição para novas práticas deve ser o mais suave possível. A carga de trabalho cognitiva do usuário pode ser diminuída, dando a ele o controle da velocidade de seu trabalho. Barras de progresso ou estratégias de gamificação, por exemplo, podem ser usadas para manter a motivação do usuário a longo prazo.

3.3.3 Diretrizes de Ergonomia

"A disciplina de ergonomia tem como foco principal as capacidades físicas e psicológicas dos trabalhadores, bem como as tentativas de alcançar melhorias nos domínios técnico e organizacional." (Al-Zuheril; Xing, 2010).

O projeto de um sistema de montagem manual baseado em RA deve considerar os efeitos no usuário que utiliza o dispositivo de RA diariamente. Melhorar as características do dispositivo que afetam a ergonomia do usuário, como tempo da bateria, peso e campo de visão, deve ser uma prática recomendada. O *feedback* do usuário deve ser considerado para melhorar o hardware utilizado nos casos em que não seja possível equipar o ambiente.

3.3.4 Diretrizes de Contexto Corporativo (ou Organizacionais)

Considerou-se o contexto corporativo como as preocupações industriais relacionadas com a implementação de sistemas baseados em RA em linhas de de montagem manuais, tais como impacto na produção real, melhoria dos indicadores-chave de desempenho, redução de custos, tempo para recuperar investimentos, aceitação do usuário de uma nova tecnologia, entre outros.

Para implementar um sistema de RA, os gerentes da indústria devem estar convencidos dos benefícios que tal sistema produzirá. Uma prova de conceito deve mostrar melhores taxas de erro, montagem de peças mais rápida, melhor qualidade e menos retrabalho de produtos.

Do lado do usuário, menos fadiga, menor carga de trabalho e melhor produtividade devem ser alcançados. Os dados pessoais devem ser protegidos e as políticas de privacidade devem ser definidas. Todos esses indicadores-chave de desempenho devem ser disponibilizados no sistema para que a indústria se convença de seu uso.

Dessa forma, obtido um conjunto de diretrizes de projeto para um sistema de RA para a indústria, o próximo passo é investigar como essas diretrizes se relacionam com o projeto da gamificação da linha de montagem manual com RA.

Tabela 3 – Diretrizes para projetos de RA e GMF

	Diretrizes	Descrição Sucinta	Referências
USABILIDADE	DU1	Facilitar o uso	(Nielsen.; Molich,1990), (Standardization, I.O. ISO), (Shneiderman et al., 2016), (Werrlich et al., 2017)
	DU2	Promover a simplicidade	(Werrlich et al., 2017)
	DU3	Fornecer instruções adaptativas dinamicamente	(Egger; Masood, 2019)
	DU4	Fornecer Feedback simples; exibir feedback direto; interação natural intuitiva; feedback personalizado	(Funk et al., 2016), (Wang; Ong; Nee, 2016);
	DU5	Usar abordagem multimodal	(Werrlich et al., 2017)
COGNITIVA	DC1	Reduzir descontinuidades cognitivas entre antigas e novas práticas de trabalho ;evitar descontinuidades funcionais ou lacunas nos modos de operação	(Lamas et al., 2018)
	DC2	Considerar o estado mental do usuário para induzir um fluxo de trabalho com menor carga cognitiva	(Wang; Ong; Nee, 2016)
	DC3	Quant mais fácil representar o conhecimento, mais fácil será transferi-lo efetivamente	(AMO et al., 2018)
	DC4	A aplicação deve se capaz de selecionar o conteúdo adequado, com base nas suas demandas e situações que ocorram	(Damiani et al., 2018)
	DC5	O usuário controla a velocidade de trabalho	(Funk et al., 2016)
	DC6	Melhorar a motivação do usuário por auto-informação quantificada	(Funk et al., 2016)
ERGONOMIA	DE1	Reduzir os efeitos colaterais físicos para uso do dispositivo	(Lamas et al., 2018)
	DE2	Evitar efeitos imprevisíveis dos dispositivos nos usuários (distração, surpresa, choques)	(Lamas et al., 2018)
	DE3	Considerar a percepção do usuário em relação às questões ergonômicas e estéticas	(Lamas et al., 2018)
	DE4	Projetar para uso com as mãos livres	(Funk et al., 2016)
	DE5	Equipar o ambiente, não o usuário	(Funk et al., 2016)
ORGANIZACIONAL	DO1	Os casos de uso devem fornecer serviços de valor agregado	(Lamas et al., 2018), (Werrlich et al., 2017), (Bottanil; Vignali, 2019)
	DO2	Integração de dados reais; aceitação do usuário	(Werrlich et al., 2017)
	DO3	Ferramentas mais intuitivas para criar e alterar o conteúdo de RA sem a necessidade de especialistas	(Cardoso; Mariano; Zorzal, 2019), (Egger; Masood, 2019)
	DO4	Padronizar o conhecimento de montagem para permitir estruturas de dados intercambiáveis entre diferentes sistemas de montagem de RA	(Wang; Ong; Nee, 2016), (Egger; Masood, 2019)
	DO5	Os dados coletados devem ser usados para melhorar o processo de treinamento ou o próprio procedimento de montagem	(Palmarini et al., 2018)
	DO6	Devem existir políticas de privacidade e segurança de dados	(Egger; Masood, 2019), (Cohen et al., 2019)
	DO7	Devem existir medidas de desempenho	(Cohen et al., 2019)
	DO8	Considerar ROI	(Werrlich et al., 2017)

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

3.4 ESTUDOS SOBRE GAMIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO

As linhas de produção de itens "customizados" tornaram-se realidade na era da indústria 4.0. Assim, o aparecimento de pequenos lotes de produção manual tornou-se um fato comum na indústria. Apesar desse fato, o uso da gamificação na indústria não está consolidado, com poucos trabalhos publicados na área (Korn *et al.*, 2015) (Warmelink *et al.*, 2020). Além disso, o sucesso de gamificação em outras áreas de aplicação não garante o sucesso em operações industriais, dado que o público-alvo dessas implementações tem características demográficas e culturais diferentes.

Warmelink et al (2020) encontraram 18 artigos envolvendo a gamificação da produção e logística no "chão de fábrica". Dos 18 estudos, 15 deles focaram na execução e controle da produção e 3 deles foram relacionados a auxiliar pessoas com deficiência (PcD) atuando em empresas ou instituições relacionadas a trabalhos executados por esse público. A maioria dos artigos tratou da gamificação da produção em linhas de montagem. No protocolo de revisão, não houve restrição quanto à data de publicação. Observando-se os 18 artigos encontrados, o mais antigo data de 2013, demonstrando o quão recente é essa área de pesquisa. Os autores afirmaram que a gamificação é atrativa para ambientes industriais por três principais razões (Warmelink *et al.*, 2020):

- As atividades de produção são monótonas, devido à sua natureza padronizada e repetitiva. A motivação do operador no trabalho pode levar a melhor desempenho da produção;
- A tecnologia atual do chão de fábrica permite a obtenção de dados de desempenho do operador para utilizá-los em sistemas de gamificação;
- O custo de se automatizar completamente esses processos de manufatura é alto em relação aos benefícios, o que torna atraente o investimento em processos que aumentem o o desempenho do operador.

A avaliação dos artigos baseou-se em três características: características motivacionais, resultados psicológicos e resultados comportamentais. As 3 principais *affordances* utilizadas foram: metas e objetivos (72%), *feedback* multimídia (67%) e representação metafórica/ficcional (61%). Considera-se *affordance*, no contexto desta pesquisa, como a capacidade do ambiente de fornecer recursos para o operador desempenhar melhor suas tarefas.

Os 3 principais resultados psicológicos medidos foram: motivação esperada (44%), *flow* esperado (39%) e outros (por exemplo, foco no trabalho, engajamento, felicidade e interesse, com total de 33%).

Os 3 principais resultados comportamentais medidos foram: eficiência esperada (56%), diversos (por exemplo, conformidade, competência e envolvimento, com total de 44%) e performance (39%).

Os autores da revisão constataram que a maioria dos artigos tratou de pesquisas empíricas, com estudo de caso em produção e controle. As *affordances* mais utilizadas foram "metas e objetivos", *feedback* multimídia e representações ficcionais ou metafóricas. Foi observado o uso de informar o desempenho do trabalhador em montagem anterior como forma de se estabelecer sua própria referência.

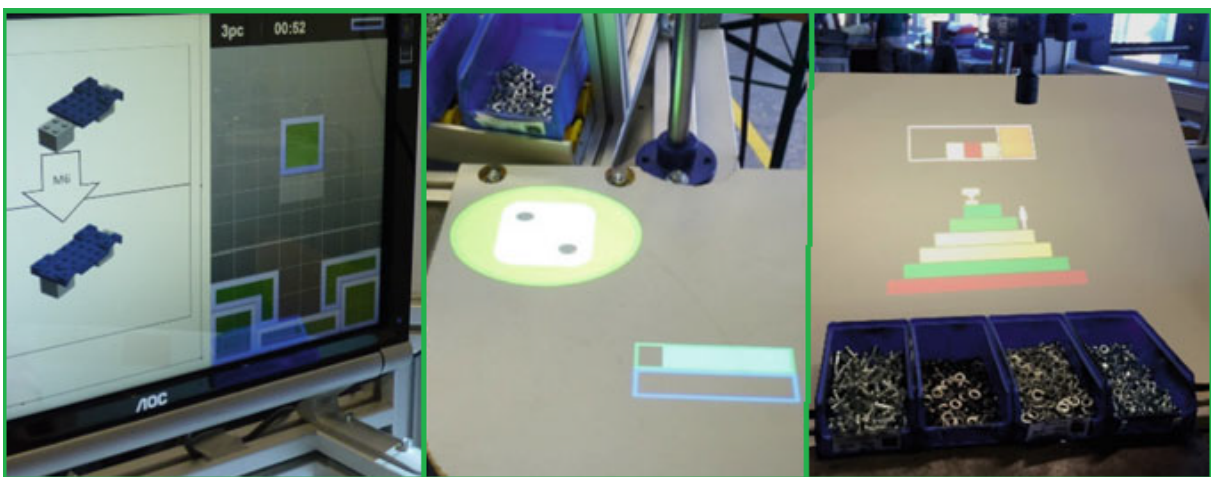
A maioria dos estudos também se interessou em medir, por meio de auto-avaliações, o aumento da motivação e o prazer (ou *flow* (Chen, 2007) (Sweetser; Wyeth, 2005)) de se executar as tarefas gamificadas. Houve também a preocupação da maioria dos estudos de se medir o aumento de performance ou eficiência do trabalhador, como menor taxa de erros e menor tempo de execução da montagem (Warmelink *et al.*, 2020).

Korn *et al.* (2017) detalham as peculiaridades da atividade do trabalhador em uma linha de montagem que, por consequência, afetam o tipo de gamificação que se pretende implementar (Korn *et al.*, 2017). Citando os autores:

Contudo, em um ambiente de produção, o foco da interação do trabalhador não é com a interface de software, mas o componente sendo trabalhado no momento.[...] A interface com o computador pode apenas ser considerada como um elemento auxiliar às suas tarefas (Korn *et al.*, 2017).

Em um experimento com 3 propostas de representação visual, previamente testadas em linha de montagem com trabalhadores sendo Pessoas com Deficiência (PcDs), a análise de supervisores que atuavam próximos a trabalhadores não PcDs de linhas de montagem de duas indústrias automotivas, mostrou a preferência por elementos gráficos com pouca animação, como o caso da pirâmide, na Figura 11 (Korn *et al.*, 2017).

Figura 11 – Elementos gráficos de gamificação em linha de montagem



Fonte: (Korn *et al.*, 2017).

Outra preferência que se observou foi o uso de cores para representar tarefas corretamente efetuadas num prazo menor do que o definido (verde) e tarefas completadas com prazo maior do

que o definido, ou com erros (amarelo/laranja e vermelho). O troféu no alto da pirâmide aparecia ou era retirado em função do desempenho do trabalhador (Korn *et al.*, 2017).

Outro aspecto importante desse estudo foi a observação de que direitos trabalhistas devem ser considerados durante a implantação do sistema, tanto do ponto de vista do controle em tempo-real das tarefas executadas pelo trabalhador, como a participação de comissões de trabalhadores ou até sindicatos nas implantações efetuadas nas linhas manuais de montagem. Eles consideraram esse aspecto importante para o sucesso da gamificação da produção nas indústrias europeias, japonesas e americanas (Korn *et al.*, 2017). Acredita-se que o mesmo aspecto deve ser considerado em implantações de gamificação no Brasil.

Outra questão considerada mas não implementada, foi a utilização de sensores para se avaliar o estado mental do trabalhador, como por exemplo, detecção do batimento cardíaco e análise de expressões faciais (Korn *et al.*, 2015) para alterar, ou até suprimir, a gamificação em instantes de alto esforço mental devido à complexidade da montagem que está sendo executada. Nesse caso, eles avaliaram que futuros estudos devem ser realizados nessa área.

Grund *et al.* (2020) apresentam uma gamificação adaptativa (pelo administrador do sistema) para trabalhadores neurodivergentes (indivíduos com deficiência cognitiva e de aprendizado) em uma linha de montagens de PCIs (Grund *et al.*, 2020). Os resultados preliminares sugerem que a combinação de uma estação de trabalho com RA projetada, associada a um agente virtual e mecanismos de gamificação foram bem recebidos por indivíduos neurodivergentes e permitiu que trabalhadores novatos com deficiências cognitivas e de aprendizagem concluíssem com sucesso as tarefas de montagem eletrônica (Grund *et al.*, 2020).

Lithoxidou *et al.* (2020) apresentam uma plataforma social gamificada para promover a troca de conhecimento entre colegas e melhorar a produtividade, segurança e engajamento no chão-de-fábrica (Lithoxidou *et al.*, 2020). Os elementos de gamificação usados (pontos, medalhas e um ranqueamento inteligente) estão intrinsecamente associados aos objetivos da gamificação e estão conectados aos elementos de colaboração social usados: perfil do usuário, conexões sociais, multimídia, atividades, mensageria, notificações e ajustes (conta, privacidade, notificações). O ranqueamento inteligente mostra a classificação personalizada com base em ações que cada participante executou melhor. Desta forma, o mecanismo de gamificação envia apenas *feedback* positivo, evitando frustrações (Lithoxidou *et al.*, 2020).

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Foi realizado um MSL sobre o uso de RA em linhas de montagem manual para responder à seguinte questão de pesquisa: quais são as diretrizes usadas para criar sistemas de linhas de montagem manuais de RA? Quatorze artigos de revisão foram encontrados e deles, informações relacionadas às diretrizes de projeto de sistemas de montagem manual baseados em RA foram extraídas. Onze artigos (78,6%) abordaram temas considerados diretrizes. Essas diretrizes foram agrupadas por suas semelhanças e pelos resultados apresentados.

Como limitação deste MSL, cita-se um pequeno número de artigos de revisão relacionados a sistemas de montagem manual baseados em RA. Uma possível solução para encontrar mais artigos seria estender o período da pesquisa e não limitar os artigos a artigos de revisão. No entanto, diretrizes muito antigas podem estar desatualizadas, visto que a tecnologia evoluiu muito, recentemente.

A segunda limitação é que a categorização utilizada não abrange todo o leque de diretrizes possíveis, pois a categorização foi feita *a posteriori*, o que significa que novas diretrizes encontradas podem se enquadrar em novas categorias. Além disso, diretrizes específicas devem ser determinadas para cada estudo de caso para atender às suas particularidades. Por exemplo, embora não tenhamos encontrado diretrizes explícitas para os indicadores-chave de desempenho, as taxas de erro e o tempo de montagem são métricas bem conhecidas e presentes na maioria dos sistemas de montagem manual baseados em RA que foram encontrados nas revisões. Portanto, um conjunto completo de diretrizes, que inclua diretrizes gerais e específicas, depende do projeto feito para as características da linha de montagem que está sendo implementada e está vinculado ao escopo do projeto.

O uso da RA vem aumentando nos últimos anos devido à possibilidade que a tecnologia fornece de melhorar as KPIs (*Key Performance Indicators* ou indicadores-chave de desempenho) nas linhas de montagem manual. No entanto, a RA tem sido pouco explorada em sua forma adaptativa e pouco se conhece do resultado de sua aplicação na indústria a longo prazo. A gamificação, por sua vez, é atrativa para ambientes industriais (Warmelink *et al.*, 2020) porém, assim como a RA, pouco se tem estudado em relação ao uso da gamificação em ambientes industriais a longo prazo.

Por fim, observa-se uma ausência significativa da junção de abordagens envolvendo simultaneamente RA e gamificação o que, portanto, indica a necessidade de uma visão integrativa desses recursos, para a qual a proposta do GRAAL se mostra como uma alternativa.

Com a obtenção das diretrizes de projeto para um sistema de RA industrial e a percepção do momento atual da gamificação aplicada na produção, propõe-se a seguir um modelo conceitual para a aplicação da gamificação em uma linha de montagem manual auxiliada por RA.

4 GRAAL - UM MODELO DE GAMIFICAÇÃO PARA UMA LINHA DE MONTAGEM MANUAL

O termo GRAAL é um acrônimo para *Gamified Responsible and Augmented Assembly Line*, ou seja, a gamificação de uma linha de montagem manual usando RA feita de forma responsável, considerando aspectos éticos, ergonômicos, cognitivos e motivacionais dos usuários envolvidos no sistema. O benefício que se espera do uso da RA em uma linha de montagem manual é a possibilidade de redução da carga cognitiva, com instruções passo-a-passo, acompanhamento dos tempos de montagem e a possibilidade de detecção de erros no próprio posto de trabalho, aumentando o controle de qualidade e reduzindo retrabalhos (Marques *et al.*, 2019). Com a gamificação dessa mesma linha, espera-se aumento da motivação (intrínseca e extrínseca) do operador para a execução do seu trabalho, deixando a tarefa menos maçante, colaborando para a redução da carga cognitiva, informando de forma lúdica seu desempenho, levando também à possibilidade de manutenção e melhoria de seus índices de produtividade no longo prazo (Warmelink *et al.*, 2020).

4.1 AMBIENTE DA APLICAÇÃO

O GRAAL é concebido para utilização em ambiente industrial, em uma linha de montagem manual, estabelecida pelo sequenciamento de etapas de montagem através de postos de trabalho interligados, onde cada operador é responsável por parte da montagem do produto. Ao final do trabalho de montagem designado em seu posto, o operador encaminha o produto parcialmente montado para o operador seguinte, que continuará o processo parcial de montagem, até que o último operador da linha conclua.

O ambiente considerado deve dispor de indicadores de produtividade. Esses indicadores avaliam o desempenho, tanto da linha de montagem como de cada operador, permitindo melhorias contínuas no processo produtivo. Nesse tipo de atividade, os indicadores-chave de desempenho (*Key Performance Indicators - KPIs*) mais usados, como observado no MSL apresentado no capítulo 3, são taxas de erros, tempos de montagem e carga cognitiva.

Para que haja uma avaliação da implantação do sistema de RA com gamificação, é necessária a existência prévia dessas KPIs. Caso o ambiente de aplicação não as tenha, deve ser realizado um trabalho de convencimento junto à supervisão para a sua implantação, para se permitir uma avaliação preliminar do desempenho da linha de montagem manual e do desempenho de cada operador da linha. Dessa forma, as seguintes diretrizes de projeto encontradas no Capítulo 3 estão relacionadas:

- DO1- Fornecer serviços de valor agregado (Lamas *et al.*, 2018), (Bottani; Vignali, 2019), (Werrlich *et al.*, 2017);
- DO2- Integrar dados reais; promover a aceitação do usuário (Werrlich *et al.*, 2017);

- DO5- Melhorar o processo de treinamento ou o próprio procedimento de montagem, com os dados coletados (Palmarini *et al.*, 2018);
- DO7- Promover medidas de desempenho (Cohen *et al.*, 2019);

Observa-se que nesse momento pré-implantação, todas as diretrizes relacionadas têm caráter organizacional. Parece razoável de se supor que se a empresa tem uma política de controle de qualidade internalizada, essas KPIs já estejam implantadas.

4.2 PÚBLICO DA APLICAÇÃO

A implantação do GRAAL leva em conta características demográficas dos operadores que auxiliem a definir elementos de interface para a RA, como forma e cores (textuais ou gráficas) e apresentação de informação coerente com idade e escolaridade desse público. Considera também as características psicológicas relacionadas a produtividade, motivação e engajamento, para aumentar a possibilidade de êxito na utilização da gamificação do sistema proposto. Para tanto, utiliza-se de um ou mais *frameworks* para obter as características desse público-alvo. Possíveis *frameworks* foram apresentados anteriormente, quando se estudou a metodologia empregada na área.

Definir previamente o público-alvo da gamificação pode levar à percepção de características adicionais aos aspectos de desempenho técnico desse público e que sugiram tipos de personalidades que possam aceitar/recusar diferentes componentes de gamificação propostos (Klock *et al.*, 2020). Nota-se portanto que as diretrizes de projeto de RA e as necessidades do projeto de gamificação são congruentes neste aspecto. Levando em conta o público da aplicação no projeto do GRAAL, as seguintes diretrizes de projeto encontradas no Capítulo 3 estão relacionadas:

- DU1- Facilitar o uso (Nielsen J.; Molich, 1990), (Standardization, 2020), (Shneiderman *et al.*, 2016), (Werrlich *et al.*, 2017);
- DU2- Promover a simplicidade (Werrlich *et al.*, 2017);
- DU3- Fornecer instruções adaptativas dinamicamente (Egger; Masood, 2019);
- DU4- Fornecer *feedback* personalizado (Funk *et al.*, 2016), (Wang *et al.*, 2016);
- DC3- Quanto mais fácil representar o conhecimento, mais fácil será transferi-lo efetivamente (Amo *et al.*, 2018).

Nota-se que as diretrizes nesse momento estão apontando para questões de usabilidade. Parece razoável a correlação, já que a usabilidade está intrinsecamente associada ao usuário do sistema.

4.3 CONTEXTO DA APLICAÇÃO

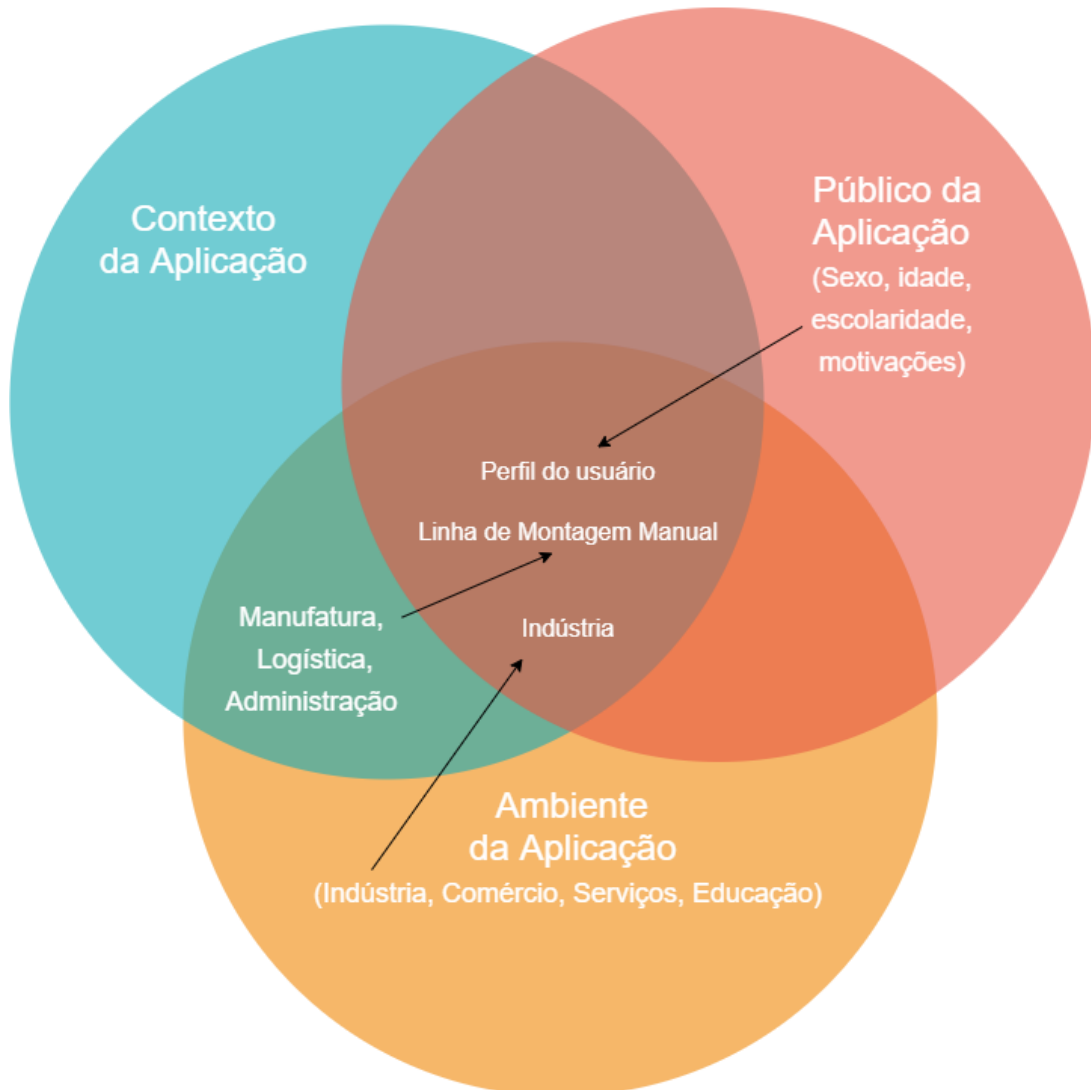
Ao se implementar o projeto, deve-se considerar sua utilização em relação ao contexto da aplicação, isto é, considera-se a complexidade da tarefa que está sendo executada naquele contexto e como a RA e a gamificação devem atuar. É necessário que a aplicação verifique a carga cognitiva dispendida no processo, refletida nas KPIs consideradas, uma vez que, em processos de alta complexidade, desviar a atenção da tarefa para se observar elementos de desempenho ou gamificação sendo informados na interface, pode aumentar a carga cognitiva, não sendo esse um resultado desejado. Novamente apresenta-se uma intersecção de diretrizes de projeto para o sistema de RA e a gamificação desse sistema. Considerando o contexto da aplicação, as seguintes diretrizes estão relacionadas:

- DU1- Facilidade (Standardization, 2020), (Nielsen J.; Molich, 1990), (Shneiderman *et al.*, 2016), (Werrlich *et al.*, 2017);
- DU2- Promover a simplicidade (Werrlich *et al.*, 2017);
- DC2- Considerar o estado mental do usuário para induzir um fluxo de trabalho com menor carga cognitiva (Wang *et al.*, 2016);
- DC4- selecionar o conteúdo para mostrar ao usuário de forma adequada, com base nas suas demandas e situações que ocorram (Damiani *et al.*, 2018);
- DO5- Melhorar o processo de treinamento ou o próprio procedimento de montagem, com os dados coletados (Palmarini *et al.*, 2018);

A Figura 12 ilustra como a aplicação proposta contempla essas três considerações iniciais e se situa em relação ao possível universo de aplicações de RA com gamificação na indústria.

Observa-se da Figura 12 três grandes eixos de atuação, como descrito anteriormente: o contexto da aplicação, o público da aplicação e o ambiente da aplicação. Como ambiente da aplicação, considerou-se o uso da RA com gamificação em diversas áreas como indústria, comércio, serviços e educação, entre outras. O ambiente de aplicação considerado para este projeto é a Indústria. Como contexto de aplicação, considerou-se as diversas possibilidades em que se pode utilizar da RA com gamificação na Indústria, como na Logística, Administração e Manufatura. Uma dessas possibilidades é na Linha de Montagem Manual na Manufatura. Por fim, como a linha de montagem manual tem necessariamente o recurso humano como principal elemento do processo, ele deve ser incluído na análise através do conhecimento de suas características e necessidades, considerando sua demografia e psicologia.

Figura 12 – Posicionamento do GRAAL no universo de aplicações



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

4.4 AVALIAÇÃO DO GRAAL

Tanto o sistema de RA a ser implementado quanto a gamificação desse sistema precisam ser avaliados quanto a sua real utilidade, tanto para o operador, quanto para a empresa. Portanto, devem ser definidos critérios para a avaliação do sistema de RA e o da gamificação, nas dimensões da tarefa, do operador e do ambiente.

Considerando que a sistemática de avaliação ocorre confrontando resultados antes e depois da implementação de um processo e que eles são implementados na mesma linha de montagem e com o mesmo perfil de usuário, as KPIs devem ser definidas de tal forma que elas possam ser utilizadas em todas as etapas das implementações, isto é, antes da implementação do sistema de RA, durante a utilização do sistema de RA, antes da implementação da gamificação e depois da implementação da gamificação. Assim, torna-se possível a comparação direta desses resultados em cada uma dessas etapas, permitindo a avaliação da eficiência das intervenções.

Verifica-se novamente neste item, que essas KPIs devem ser comuns a ambas as implementações. Dessa forma, as seguintes diretrizes de projeto estão relacionadas:

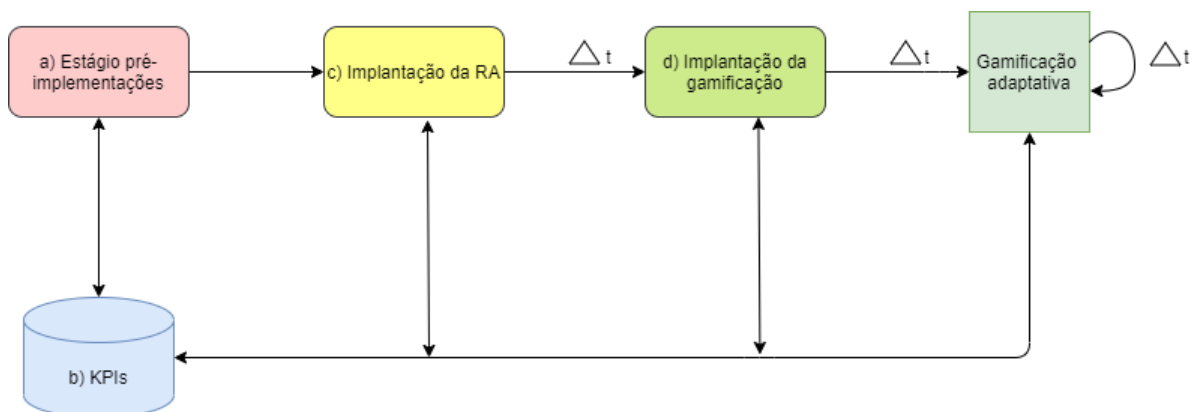
- DC1- Reduzir discontinuidades cognitivas entre antigas e novas práticas de trabalho (Lamas *et al.*, 2018);
- DO2- Integrar dados reais (Werrlich *et al.*, 2017));
- DO5- Melhorar o processo de treinamento ou o próprio procedimento de montagem, com os dados coletados (Palmarini *et al.*, 2018);
- DO7- Promover medidas de desempenho (Cohen *et al.*, 2019);
- DO8- Considerar o ROI (Cohen *et al.*, 2019), (Werrlich *et al.*, 2017).

Nota-se neste momento a prevalência de diretrizes organizacionais, já que a avaliação do GRAAL por meio das KPIs tem relação, num aspecto mais amplo, com questões de produtividade, eficiência e rentabilidade da própria empresa.

4.5 VISÃO PROCESSUAL DO GRAAL

Considera-se inicialmente que o ambiente de intervenção não tenha nenhum tipo de tecnologia de RA inserido previamente no contexto da tarefa em que se pretende implantar a gamificação associada à RA. Para a correta avaliação dos resultados da introdução dessas duas tecnologias no ambiente descrito anteriormente, propõe-se evitar sua introdução simultânea (conforme justificado a seguir). Assim, introduz-se inicialmente a RA e se permite um período de adaptação dos operadores à nova tecnologia utilizada no processo de montagem, como mostra a Figura 13.

Figura 13 – Estágios de implantação do GRAAL para linhas de montagem manuais



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Os estágios de implantação são descritos a seguir:

a) No estágio pré-implantação, obtém-se as KPIs utilizadas, define-se o perfil do operador, compilam-se os dados históricos de produção, tanto da linha como dos operadores;

b) Os dados históricos da linha de montagem, associados a novas KPIs, são armazenados na base de dados. Essa base de dados, após a implantação do sistema, será utilizada para a avaliação do desempenho da implantação da RA e, posteriormente, da gamificação;

c) Faz-se a implantação da RA na linha de montagem manual. Os dados necessários à execução da tarefa, bem como os resultados obtidos nessa execução, ficam armazenados na base de dados e disponibilizados para a supervisão do sistema para análise. Com base na análise dos dados obtidos, obtém-se o desempenho da linha de montagem e de seus operadores após a implantação da RA;

d) Estabilizada a implantação da RA após um período de tempo Δt e obtidas as KPIs de desempenho da linha e dos operadores, inicia-se o estágio de implantação da gamificação, com a definição de um vetor de gamificação de *setup* (tendo, entre outros atributos, um conjunto de elementos de gamificação), obtido em função dos dados existentes até o momento;

e) Novamente, após um período de tempo Δt , considerado suficiente para a assimilação dos operadores à introdução no sistema da gamificação, esta passa a se adaptar ao operador, realimentada pelos dados de seu desempenho (que considera elementos de complexidade da tarefa, desempenho anterior e seu perfil).

Para a gamificação adaptativa, sugere-se também a adoção de um período de tempo para que a mudança dos elementos da gamificação possa surtir efeito. Os tempos Δt considerados se relacionam às seguintes diretrizes encontradas no MSL para o projeto de um sistema de RA para a indústria e, ao mesmo tempo, servem como diretrizes para o projeto de gamificação:

- DC1- Reduzir discontinuidades cognitivas entre antigas e novas práticas de trabalho; evitar discontinuidades funcionais ou lacunas nos modos de operação (Lamas *et al.*, 2018);
- DE2- Evitar efeitos imprevisíveis dos dispositivos nos usuários (distração, surpresa, choques) (Lamas *et al.*, 2018);
- DO2- Integração de dados reais; aceitação do usuário (Werrlich *et al.*, 2017);

A duração desses períodos de adaptação às novas tecnologias implementadas, é definida em função de avaliação junto aos operadores e também fazendo-se a comparação de KPIs antes e depois da introdução da RA e, posteriormente, da gamificação.

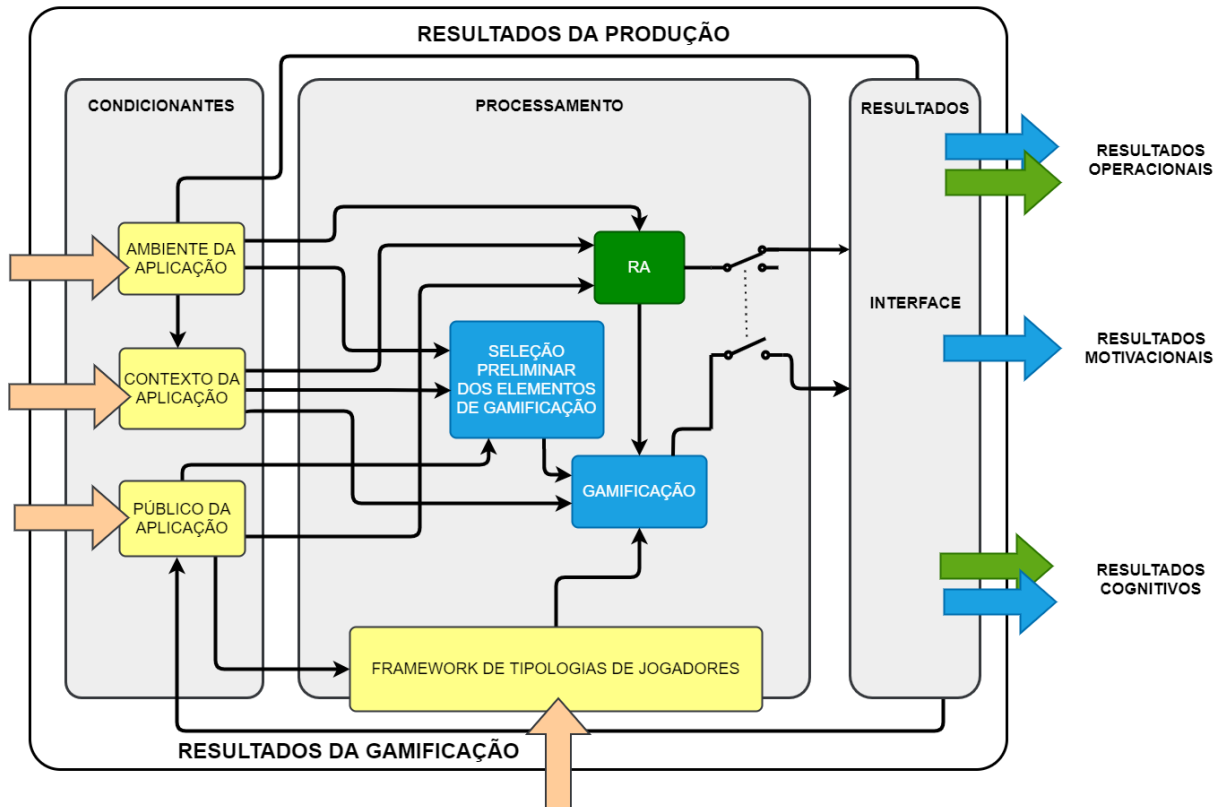
4.6 MODELO CONCEITUAL DO GRAAL

Nesta seção é proposto um modelo conceitual para o GRAAL, como indicado na Figura 14. Um modelo científico é uma representação abstrata, simplificada, de um sistema de fenômenos que torna suas principais características explícitas e visíveis e que pode ser usado para

gerar explicações e predições (Schwarz *et al.*, 2009). O modelo do GRAAL é composto de três grandes blocos que representam os três estágios principais e considera as entradas, o processamento e as saídas que, neste caso, por suas características, foram denominados condicionantes, processamento e resultados (*outcomes*).

Neste modelo, 3 condicionantes foram consideradas:

Figura 14 – Modelo Conceitual do GRAAL



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

1. O ambiente da aplicação, que considera a área de aplicação onde o GRAAL será implementado, neste caso, a indústria de manufatura. Nessa indústria, são considerados no ambiente fatores como condições de temperatura do local, iluminação, ferramentas e disposição de equipamentos e das linhas de montagem manual;
2. O contexto da aplicação, que está associado com a tarefa, em si, e considera a linha de montagem que está sendo utilizada, o tipo de PCI, a complexidade da tarefa e o histórico de desempenho dos operadores para aquela montagem. Engloba o controle da produção, como sendo todo tipo de controle da linha de montagem manual e que tem, por natureza, uma característica quantitativa, devendo existir antes da implantação do GRAAL;
3. O público da aplicação, que está associado a quem vai executar a tarefa, com um perfil específico. Neste caso, o perfil dos operadores da linha de montagem manual.

O módulo de RA (cor verde) recebe informações do Contexto da Aplicação, como taxa de erros e tempos de montagem e disponibiliza essas informações para a Interface do operador, juntamente com as informações textuais relativas à montagem passo-a-passo e as informações gráficas, como o tipo de componente a ser instalado naquele momento e sua localização. Além disso, o ambiente e o contexto da aplicação podem ser utilizados na determinação do nível de informação de RA desejado na interface para o operador. O *feedback* da tarefa fornecido ao operador pode ser dosado em função do perfil do operador que o módulo de RA recebe do módulo Público da Aplicação e da retro-alimentação fornecida pelos Resultados da Produção. Nota-se que o módulo de RA não recebe informações dos módulos de Seleção dos Elementos de Gamificação nem do módulo de Gamificação, tendo atuação independente. Com apenas o módulo de RA atuando, espera-se Resultados Operacionais (melhoria e manutenção das KPIs) e Resultados Cognitivos (medidas de esforço cognitivos estáveis ou reduzidas), indicados como Resultados na cor verde.

Do lado da gamificação (cor azul), o módulo de Seleção Preliminar dos Elementos de Gamificação faz a seleção considerando o Ambiente da Aplicação (por exemplo, linha de montagem utilizada, condições de operação, ferramental e insumos) e o Contexto da Aplicação (por exemplo, tipo e complexidade da tarefa e históricos anteriores para a mesma tarefa) e o Público da Aplicação (perfil dos operadores que estão executando a tarefa). Após a seleção, obtém-se um subconjunto de um conjunto de elementos de gamificação disponíveis no sistema, que é utilizado como uma das entradas do módulo de Gamificação. Conhecendo-se o perfil do operador, fornecido pelo módulo Público da Aplicação, o Framework de Tipologias de Jogadores utilizado define outro subconjunto de elementos de gamificação possíveis para aquele perfil e envia esse resultado para o módulo de Gamificação.

O módulo de gamificação considera a intersecção desses dois sub-conjuntos de elementos de gamificação fornecidos para promover a manutenção ou alteração desses elementos na interface do sistema, considerando também, além dos aspectos psicológicos, os resultados anteriores de desempenho na execução da tarefa, fornecidos pelo módulo Contexto da Aplicação. Se o sistema está com a opção de gamificação presente (condição representada no modelo com a ativação da chave dupla de comutação), o módulo de Gamificação agrega os elementos de gamificação com a RA e apresenta o resultado combinado na interface do operador (monitor). Com a combinação da RA com a Gamificação, espera-se a melhoria e manutenção dos Resultados Operacionais, Motivacionais e Cognitivos refletidos nas KPIs utilizadas (Resultados na cor azul).

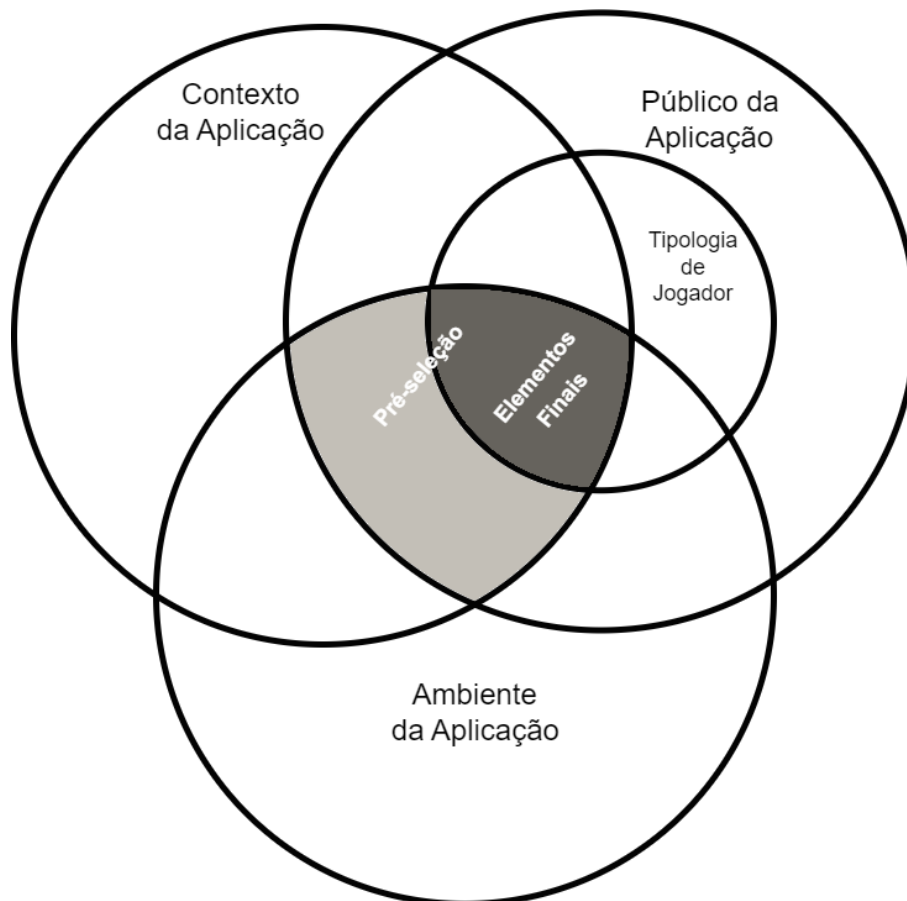
O *feedback* obtido através dos Resultados da Produção (posição superior no modelo) alimenta o módulo Contexto da Aplicação, que calcula desempenhos operacionais e envia esses resultados para o módulo de RA incluir na interface, para o módulo de Seleção de Elementos de Gamificação refazer ou manter a seleção, e para o módulo de Gamificação utilizar esses dados para manter ou definir os novos elementos de gamificação para serem enviados à Interface do operador.

O *feedback* obtido através dos Resultados da Gamificação (posição inferior no modelo)

vai para o módulo Público da Aplicação, que avalia se o perfil do operador sofreu alguma alteração como resultado da utilização da Gamificação e envia esse perfil atualizado para o módulo Framework de Tipologias de Jogadores que, por sua vez, decide e envia novo sub-conjunto de elementos de gamificação para o módulo de Gamificação manter ou selecionar novos elementos de gamificação.

Dessa forma, é possível o gerenciamento dinâmico dos elementos de gamificação disponíveis para aquele operador e aquela montagem, naquele momento, caracterizando-se o processamento uma gamificação adaptativa dinâmica. Um diagrama indicando como a escolha do conjunto de elementos de gamificação mais adequado se desenvolveu é mostrado na Figura 15.

Figura 15 – Obtenção do Conjunto de elementos de gamificação adaptativa do GRAAL



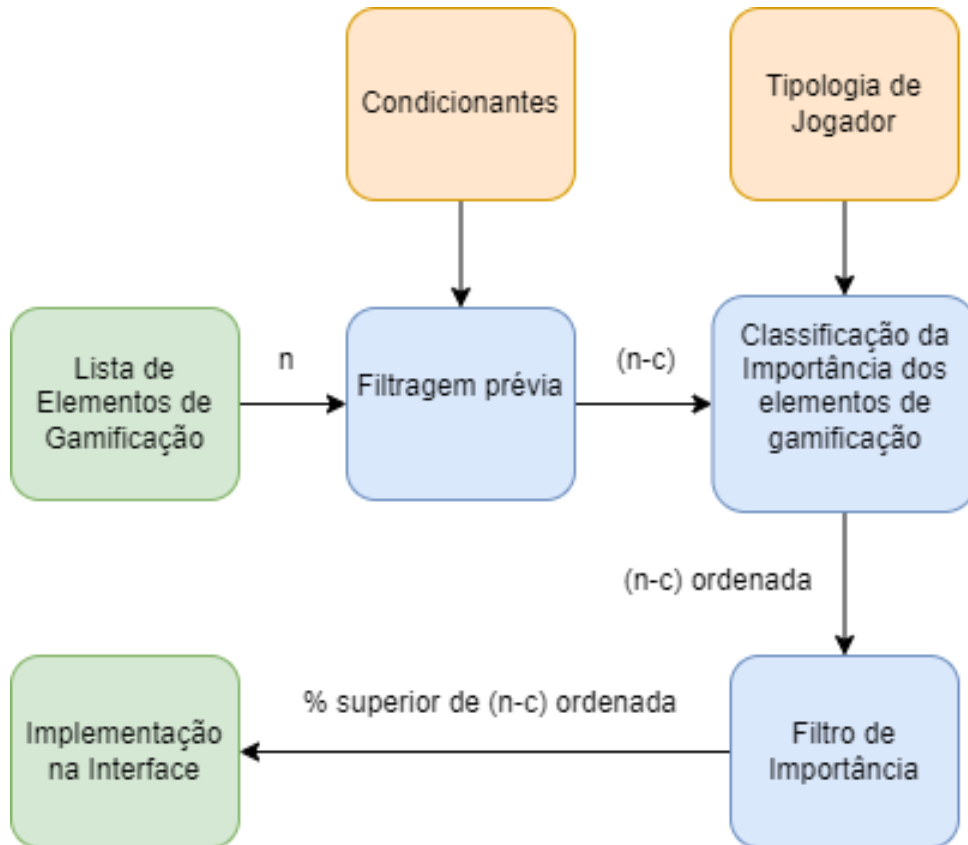
Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Como mostrado na Figura 15, a partir de um conjunto de elementos de gamificação conhecidos da literatura, faz-se uma pré-seleção daqueles considerados adequados para o sistema, escolhidos em função das três condicionantes: Ambiente, Contexto e Público da Aplicação. Os elementos escolhidos constituem o sub-conjunto denominado "Pré seleção". A condicionante Público da Aplicação, através da definição do perfil do operador e sua Tipologia de Jogador, determina quais elementos de gamificação do conjunto inicial (Pré seleção) são os mais adequados.

A intersecção dos dois sub-conjuntos (Tipologia do Jogador e Pré seleção) fornece o conjunto final dos "Elementos escolhidos" mais adequados para promover a motivação e engajamento daquele operador, executando aquela tarefa, naquele momento.

O fluxo para a escolha desses elementos é mostrado na Figura 16.

Figura 16 – Escolha dos elementos da gamificação de *setup*



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

A partir de uma extensa lista de elementos de gamificação obtidos na literatura (n), parte deles é filtrada previamente considerando-se as condicionantes Ambiente da Aplicação, Contexto da Aplicação e Público da Aplicação. O resultado dessa filtragem preliminar ($n-c$) é classificado, em ordem decrescente de importância, pelo critério definido pelo framework de tipologia do jogador escolhido ($(n-c)$ ordenada). Um percentual dos elementos de gamificação mais importantes ($\%$ superior de $(n-c)$ ordenada) é escolhido para compor um conjunto de elementos de gamificação inicial.

Para início da operação do GRAAL considerou-se um caso de uso que pode ser descrito na Figura 17. Na parte superior do diagrama, à direita, está o vetor de gamificação de *setup* (V_g *setup*). Esse vetor é representado por um conjunto de atributos e inclui os elementos iniciais da gamificação, obtidos como descrito anteriormente. Ele é definido inicialmente a partir da criação de um perfil de operador, que representa a característica média dos operadores daquela linha de montagem, no que se refere a perfil psicológico, tipo de jogador e motivações. A partir do início da utilização e depois de um período de avaliação, o sistema passa a ser adaptativo,

- DC4- A aplicação deve ser capaz de selecionar o conteúdo para mostrar ao usuário de forma adequada, com base nas demandas e situações que ocorram (Damiani *et al.*, 2018);
- DC6- Melhorar a motivação do usuário por auto-informação quantificada;
- DO2- Integração de dados reais; aceitação do usuário (Werrlich *et al.*, 2017);
- DO4- Padronizar o conhecimento de montagem para permitir estruturas de dados intercambiáveis entre diferentes sistemas de montagem de RA (Wang *et al.*, 2016) (Egger; Masood, 2019);
- DO5- Os dados coletados devem ser usados para melhorar o processo de treinamento ou o próprio procedimento de montagem (Palmarini *et al.*, 2018);
- DO7- Devem existir medidas de desempenho (Cohen *et al.*, 2019);
- DO8- Considerar ROI (Cohen *et al.*, 2019) (Werrlich *et al.*, 2017).

4.7 MEDIDA DO DESEMPENHO DO GRAAL

Para a medição do desempenho do GRAAL e considerando que ele depende do desempenho de cada operador atuando na linha de montagem, algumas variáveis são necessárias para se obter dados quantitativos, tanto individualmente, como do sistema. Define-se genericamente Desempenho por tarefa (D_t) como sendo a função:

$$D_t = f(p_j) \quad (1)$$

onde p_j é qualquer KPI considerada importante para o desempenho do operador naquela tarefa. Para o caso de linhas de montagem manual define-se

$$D_t = f(i_c, t_m, t_e) \quad (2)$$

onde i_c é o índice de complexidade da tarefa, t_m é o tempo de montagem médio individual por tarefa e t_e é a taxa de erro média individual por tarefa. D_t é uma medida individual de desempenho de cada operador para uma determinada tarefa de montagem.

O índice de complexidade da tarefa i_c é definido em função do número de operações de montagem (quantos componentes devem ser montados), tipo de operações necessárias, número de instrumentos utilizados (por exemplo, pinça, alicate, entre outros), tipo de componente montado (regulador, resistor, diodo, transistor, led, capacitor, transformador, cabos, conectores), tipo de substrato de montagem (placa dupla face, face simples, número de furos e distância entre componentes) e sequência de montagem. Esse índice depende das características da tarefa e é definido pela supervisão do sistema.

Define-se perfil do operador P_o como sendo o resultado obtido de avaliações sobre esforço cognitivo, tipo de jogador (baseado em um *framework* de avaliação adotado) e motivações (também baseado em *framework* de avaliação adotado). P_o depende das características de cada operador. Uma proposta de como se obter esse perfil é apresentada no capítulo 5.

Define-se Vetor de Gamificação V_g um conjunto de elementos de gamificação, definidos previamente para o sistema em questão. Esse vetor depende das características da gamificação proposta para o sistema (filtragem inicial, frameworks para tipologias de jogadores) e também das características dos operadores, representados inicialmente por um perfil genérico e individualmente, ao longo do tempo de gamificação, por seu perfil, esforço cognitivo e desempenho individuais.

Dessa forma, o desempenho do operador para uma determinada tarefa ao longo de um período de tempo (dias, semanas, meses, anos) pode ser calculado a partir do seu desempenho histórico médio por tarefa (D_t). Com os desempenhos de cada operador calculados, é possível se determinar o desempenho da linha de montagem para uma determinada tarefa, em um dado momento.

Essa proposta de medida de Desempenho do GRAAL se relaciona com as seguintes diretrizes encontradas para o projeto de RA:

- DO1- Fornecer serviços de valor agregado (Lamas *et al.*, 2018) (Bottani; Vignali, 2019) (Werrlich *et al.*, 2017);
- DO2- Integrar dados reais; promover a aceitação do usuário (Werrlich *et al.*, 2017);
- DO7- Promover medidas de desempenho (Cohen *et al.*, 2019).

Observa-se a utilização de diretrizes organizacionais associadas ao controle do processo e avaliação de resultados operacionais.

4.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

A proposta do GRAAL apresentada, mostrou que sua avaliação depende da manutenção de parâmetros de desempenho ao longo do processo. Dado que a proposta desta pesquisa contempla a implantação de uma gamificação agregada a uma implantação de um sistema de RA, é necessário avaliar corretamente o efeito de cada implantação, individualmente, no sistema de montagem manual, para minimizar eventuais discontinuidades e perda de produtividade. Além disso, a implantação gradual e sequencial das duas tecnologias permitirá a confrontação dos dados de produção em quatro momentos distintos: antes da implantação da RA, depois da implantação da RA, após a implantação da gamificação e após a gamificação tornar-se adaptativa dinâmica.

Para que a utilidade do GRAAL seja verificada e se obtenha um valor de ROI próximo da realidade, é relevante a obtenção de dados históricos precisos sobre o desempenho prévio dos

operadores, o que significa existência prévia de mecanismos de avaliação de desempenho, com métricas de avaliação definidas, como taxa de erros, tempo de montagem e complexidade da tarefa.

Pode-se verificar, observando o modelo da Figura 14, que não existem restrições sobre o método de criação das métricas de avaliação na composição do desempenho do operador antes de qualquer implantação. No entanto, as mesmas métricas devem ser usadas na composição do desempenho do operador por tarefa (D_t) e devem permanecer na composição das medidas de avaliação do sistema em todos os 3 estágios das implantações, como mostra a Figura 13. O mesmo se aplica na definição do perfil do operador, que pode ser obtido por diferentes *frameworks* de avaliação de tipos de jogadores ou de personalidades.

Nota-se que na definição do sistema de gamificação agregado à implantação do sistema de RA, várias diretrizes encontradas através do MSL mostraram-se úteis também para o desenvolvimento da gamificação, indicando haver sinergia entre as duas implantações.

Na Tabela 4 é apresentado um resumo das diretrizes utilizadas no projeto do GRAAL, a frequência de suas contribuições e como essas diretrizes foram atendidas. Analisando a tabela, pode-se concluir que:

- Uma diretriz de usabilidade não foi usada (DU5- Utilizar abordagem multimodal);
- Apenas uma diretriz de ergonomia foi considerada (DE2- Evitar efeitos imprevisíveis dos dispositivos nos usuários);
- Duas diretrizes organizacionais não foram contempladas: DO3 (Desenvolver ferramentas mais intuitivas para criar e alterar o conteúdo de RA sem a necessidade de especialistas) e DO6 (Fornecer políticas de privacidade e segurança de dados).

Considerou-se que a utilização da diretriz DU5 pode ser avaliada durante a implantação do protótipo no posto-piloto, na prova de conceito, onde serão verificadas as alternativas disponíveis de multimodalidade que não conflituem com a DE-5, A Diretriz cognitiva DC5 é utilizada implicitamente, uma vez que o objeto da montagem não pode se movimentar automaticamente, sendo conduzido para o posto seguinte pelo próprio operador, após concluída sua parte da montagem. As diretrizes de ergonomia estão associadas a dispositivos e serão utilizadas na prova de conceito, no Capítulo 5. Com relação à diretriz organizacional DO3, considera-se que ela está além do escopo atual, mas pode ser considerada até a conclusão deste trabalho. A diretriz organizacional DO6 será utilizada no momento da obtenção de dados no posto-piloto. No entanto, um estudo envolvendo segurança de dados é considerado antes dessa implantação e está incluído no cronograma de atividades.

Dado o elevado número de elementos de gamificação existentes atualmente, um estudo sobre a aplicação de filtros desses elementos antes da definição de V_g é necessário. Como exemplo um V_g *setup* com número de elementos de gamificação $n=10$, levará mais de 19 anos para testar todas as possibilidades, mudando a combinação de elementos a cada semana.

Tabela 4 – Diretrizes contempladas no projeto GRAAL

	Diretrizes	Frequência	Atendidas considerando
USABILIDADE	DU1	2	Público e contexto da aplicação
	DU2	2	Contexto da aplicação e complexidade da tarefa
	DU3	2	Público da aplicação e desempenho com gamificação
	DU4	1	Público da aplicação e perfil do operador
	DU5	N	-----
COGNITIVA	DC1	2	Um intervalo de tempo para adaptação às tecnologias
	DC2	2	Contexto da aplicação, complexidade e carga cognitiva
	DC3	1	Público da aplicação
	DC4	2	Contexto da aplicação, adaptação e métricas de avaliação
	DC5	1	Ambiente da aplicação, que torna a diretriz implícita
	DC6	1	Métricas de avaliação
ERGONOMIA	DE1	N	-----
	DE2	1	Tempo de adaptação às novas tecnologias na implantação
	DE3	N	-----
	DE4	N	-----
	DE5	N	-----
ORGANIZACIONAL	DO1	2	Medidas de desempenho e ambiente da aplicação
	DO2	5	Medidas de desempenho e ambiente da aplicação
	DO3	N	-----
	DO4	1	Contexto da aplicação
	DO5	4	Ambiente e contexto da aplicação, métricas de desempenho
	DO6	N	-----
	DO7	4	Ambiente da aplicação, suas KPIs, pré e pós-implantação
	DO8	2	Considerando avaliação do sistema e KPIs

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Não se achou na literatura elementos que definam desempenho de operador da forma aqui proposta, uma vez que não existem claras instruções ou claros *frameworks* para a gamificação do trabalho em contexto fabril. Yang et al. (2019) afirmam que embora a maioria dos estudos demonstre que a tecnologia de RA é benéfica para o desempenho da montagem, nenhuma conclusão clara e confiável foi elaborada sobre o procedimento de montagem específico para o qual esta tecnologia funciona (Yang *et al.*, 2019). Seo et al. (2020) afirmam que a gamificação no local de trabalho de manufatura tem atraído pouca atenção, devendo-se em parte à convenção taylorista nas fábricas e principalmente devido à falta de provas sustentáveis dos efeitos da gamificação no ambiente de fabricação (Seo *et al.*, 2020). Warmelink et al. (2020) citam que a pesquisa da gamificação no chão de fábrica está atualmente em sua fase piloto inicial (Warmelink *et al.*, 2020).

Essas afirmações podem justificar a inexistência de *frameworks* de gamificação de siste-

mas com RA e que trabalhem de forma adaptativa dinâmica, como o modelo aqui proposto. No próximo capítulo, apresenta-se uma prova de conceito, onde o modelo proposto será implementado em um posto de trabalho de uma linha de montagem manual, com uma descrição detalhada do funcionamento de cada bloco constituinte e dos instrumentos de avaliação necessários.

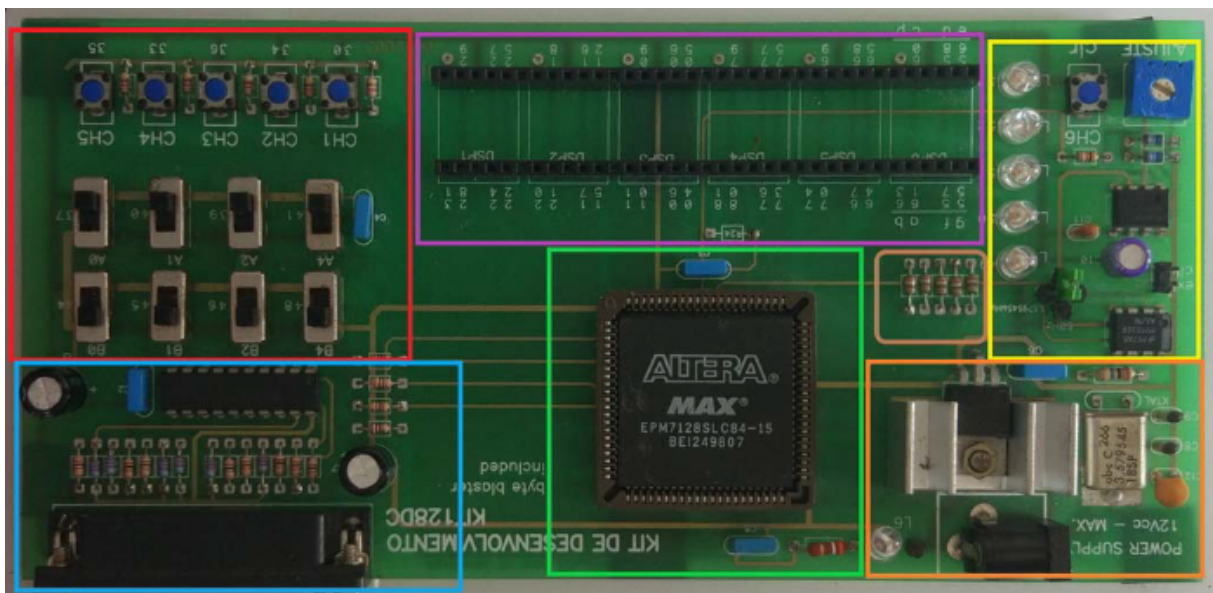
5 PROVA DE CONCEITO

Neste capítulo, implementa-se o modelo conceitual de gamificação proposto no Capítulo 4 como uma aplicação agregada ao sistema de RA projetado para uma linha de montagem manual de PCIs. Esse sistema de RA foi projetado com base no estudo de uma linha de montagem manual real de uma indústria multinacional do setor elétrico, visitada pelo autor.

5.1 PRODUTO

O produto usado para a montagem manual é uma PCI de dupla face, com furos metalizados, para inserção de componentes eletrônicos diversos. Após a inserção automática de circuitos SMD (*Surface Mounted Devices*), a placa é fornecida no início da linha de montagem manual, limpa de resíduos e pronta para o início da montagem. Para emular a placa, foi utilizada a PCI da Figura 25, que pode ser de face simples, uma vez que os componentes SMD não fazem parte do estudo por serem montados prévia e automaticamente.

Figura 18 – PCI usada para testes. As áreas retangulares demarcam estágios de montagem de um conjunto de componentes



Fonte:(Bauer *et al.*, 2020).

5.2 OPERAÇÃO DE MONTAGEM

A operação de montagem (Contexto da Aplicação) consiste em se montar um conjunto de componentes eletrônicos na PCI. Ela ocorre por meio de trabalhos realizados em uma linha de montagem manual composta de postos de trabalho, onde cada operador(a) é responsável por uma parte da montagem de um grupo de componentes. Ao término da sua montagem, o(a) operador(a) encaminha a PCI para o(a) operador(a) subsequente, que repetirá o mesmo processo, montando

o grupo de componentes de sua responsabilidade. Ao final da linha, a PCI estará totalmente montada e disponibilizada para ser agregada a outras partes do produto final.

5.3 OPERADORES

A visita à empresa mostrou que a linha de montagem manual utilizava predominantemente mulheres (Público da Aplicação). Portanto, a partir deste momento, com o intuito de aproximar ao máximo a prova de conceito com a realidade industrial da área, será considerada na linha de montagem manual uma pessoa do sexo feminino.

5.4 AMBIENTE DE TRABALHO

A visita à empresa mostrou um ambiente de trabalho organizado, com os postos de trabalho dispostos em uma mesma bancada, lado a lado (Ambiente da Aplicação). A bancada tem uma ferramenta para imobilização da placa, disposta sobre trilhos e permite o deslocamento da PCI de um posto de trabalho para o seguinte. Na bancada são disponibilizadas as caixas de componentes, alinhadas à frente da operadora. Acima das caixas, existe um monitor *touch-screen* para acesso à lista de materiais e manual de montagem. Ao término da montagem do último posto de trabalho, as placas são depositadas em uma caixa e encaminhadas para avaliação por um *gig* de testes (um sistema eletrônico que energiza e se conecta à PCI, simulando as entradas e monitorando as saídas, para verificar eventuais erros de sinais). Se acusado algum erro, a PCI é encaminhada para inspeção visual e para retrabalhos, visando seu aproveitamento. A iluminação do local, no momento da visita, era à base de lâmpadas fluorescentes.

5.5 KPIS

A carga cognitiva será uma medida obtida a partir de questionários de avaliação com as próprias operadoras da linha de montagem, para uma determinada tarefa. Para este estudo de caso, o instrumento a ser usado para a medição de carga cognitiva será o *NASA Task Load Index* (NASA-TLX) (NASA, 2021), (Hart; Staveland, 1988). Esse instrumento foi escolhido por ter sido adaptado para a língua portuguesa (Diniz, 2018) e usado com sucesso (Benin; Pessa, 2019). Além disso, possui as seguintes características, julgadas congruentes com a proposta desta pesquisa:

- A percepção de que a carga de trabalho deve ser analisada do ponto de vista do operador e não da tarefa;
- O *framework* leva em consideração o perfil da operadora e todo o seu *background*, quando admite um *bias* de sua avaliação da carga cognitiva;

- As variáveis de desempenho consideradas, como velocidade, acurácia/precisão e confiabilidade utilizadas no instrumento, que podem estar associadas às variáveis t_e e t_m utilizadas no GRAAL;
- A consideração de que essa é uma medida relativa e não absoluta, o que permite criar um índice de referência inicial na linha de montagem piloto e depois comparar a variação desse índice ao longo da existência da montagem do produto na mesma linha, nas mesmas condições de ambiente e trabalho, podendo ser elemento auxiliar de decisão ou *trigger* para desativação/reintrodução/alteração da gamificação.

5.6 SISTEMA DE RA

A gamificação proposta pressupõe a implantação prévia de um sistema de RA como auxílio na montagem de PCIs, como já mostrado na Figura 13, no Capítulo 4. Para a realização do projeto do sistema de RA, foi feito um segundo MSL envolvendo especificamente o uso de RA em linhas de montagem manual de PCIs (Bauer *et al.*, 2020). Com esse estudo foi possível conhecer as propostas de projeto, bem como suas limitações. Com base nesse conhecimento e considerando a visita à empresa anteriormente citada, algumas considerações sobre a peculiaridade de uma linha real de montagem de PCIs foram levadas em conta:

- Os componentes têm diferentes tamanhos e diâmetros, variando de milímetros a centímetros;
- A operadora precisa que ambas as mãos estejam livres;
- Monitores já estão presentes nas bancadas para exibir um manual de montagem com imagens estáticas;
- Nenhum teste de qualidade é realizado entre as tarefas de cada estação de trabalho;

A seguir, apresentam-se as escolhas feitas em função dessas características da linha de montagem considerada, com relação aos desenvolvimentos de hardware e software.

5.6.1 Hardware

O uso da combinação de uma *webcam* fixa com um monitor *touch-screen* parece ser a mais adequada para a montagem de PCIs, especialmente considerando que no caso deste estudo, a linha de montagem já conta com monitores para apresentação de manuais de montagem.

Com base no exposto, as seguintes diretrizes para projetos de RA na indústria foram atendidas:

- DE1- Reduzir os efeitos colaterais físicos para uso do dispositivo (Lamas *et al.*, 2018);

- DE2- Evitar efeitos imprevisíveis dos dispositivos nos usuários (distração, surpresa, choques) (Lamas *et al.*, 2018);
- DE3- Considerar a percepção do usuário em relação às questões ergonômicas e estéticas (Lamas *et al.*, 2018);
- DE4- Projetar para uso com as mãos livres (Funk *et al.*, 2016);
- DE5- Equipar o ambiente, não o usuário (Funk *et al.*, 2016);

5.6.2 Escolha da Ferramenta de Desenvolvimento

Um dos objetivos do projeto de software é realizar a identificação da PCI em diferentes estágios de montagem, apresentar instruções para a montagem da atual e da próxima fase da linha de produção, bem como realizar a validação das etapas anteriores, para que o controle de qualidade seja feito automaticamente.

A ferramenta de desenvolvimento escolhida para o projeto de software foi Vuforia. O modo de rastreamento a ser usado é a identificação de seções específicas da PCI ligadas às fases de montagem, pois é a combinação que apresentou a melhor eficácia do rastreamento, melhor diferenciação entre os estágios e melhor registro de peças na RA. Esta subseção contemplou as seguintes diretrizes para projetos de RA na indústria:

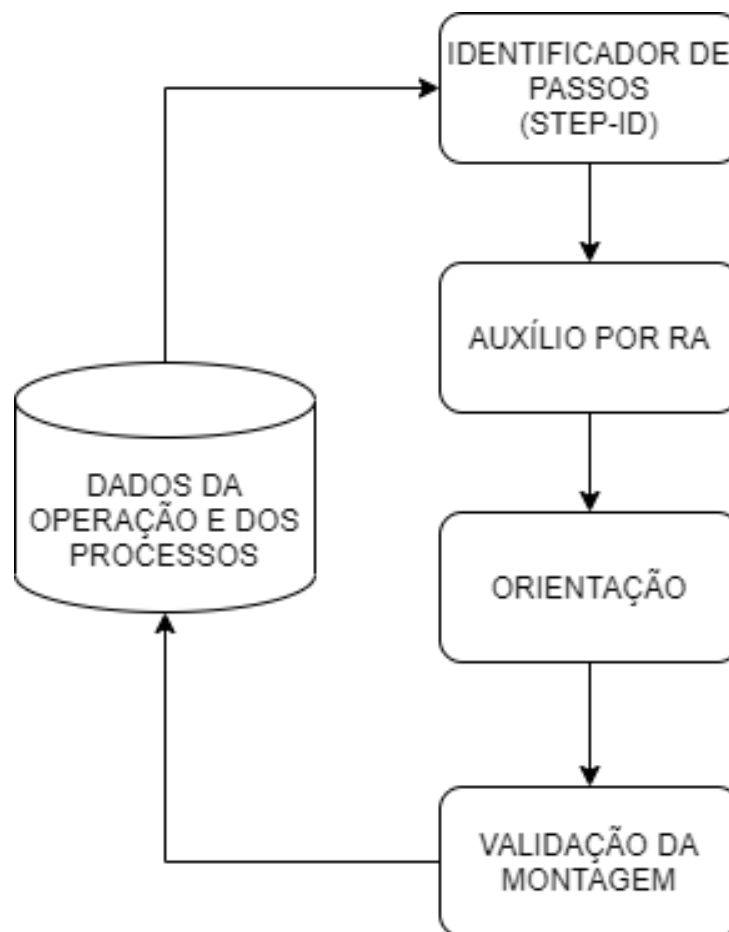
- DC4- A aplicação deve ser capaz de selecionar o conteúdo adequado, com base nas suas demandas e situações que ocorram (Damiani *et al.*, 2018);
- DE1- Reduzir os efeitos colaterais físicos para uso do dispositivo (Lamas *et al.*, 2018);
- DE2- Evitar efeitos imprevisíveis dos dispositivos nos usuários (distração, surpresa, choques) (Lamas *et al.*, 2018);
- DE3- Considerar a percepção do usuário em relação às questões ergonômicas e estéticas (Lamas *et al.*, 2018);
- DE4- Projetar para uso com as mãos livres (Funk *et al.*, 2016);
- DE5- Equipar o ambiente, não o usuário (Funk *et al.*, 2016);

5.6.3 Projeto de Arquitetura do Sistema de RA

O sistema proposto tem como foco apoiar os processos de trabalho de montagem, trazendo recursos de tutoria, verificação e armazenamento de dados para a garantia e aprimoramento da qualidade da montagem. Esses processos são representados na Figura 19. O sistema inicia com o Identificador de Passos obtendo os Dados da Operação e dos Processos, como identificação da placa a ser montada, lista de componentes eletrônicos utilizados, com suas quantidades, dados do

posto de trabalho, do estágio atual da montagem e dados da operadora e seu histórico. A seguir, é feita a validação do estágio de montagem anterior e o início da tutoria com RA. O Auxílio por RA ocorre apresentando o local de inserção dos componentes na PCI. A Orientação ocorre com a RA apresentando a sequência de montagem passo-a-passo. Após a montagem de todos os componentes da etapa, é feita a conferência e Validação da Montagem daquela etapa. Os resultados do processo voltam para a base de dados, que atualiza a situação daquela tarefa para o próximo posto de trabalho.

Figura 19 – Fluxograma do sistema de RA para montagem e validação de PCIs



Fonte: adaptada de (Bauer *et al.*, 2020).

Com base nesses processos e considerando as decisões de projeto nos quesitos de hardware e software, chegou-se a uma concepção de projeto de RA, mostrada na Figura 20, que é descrita a seguir.

Os atores do sistema, no momento da operação, são os supervisores e as operadoras. O sistema de RA deve dispor de dados históricos de produção, regras e instruções de montagem de cada produto, através da Base de Dados da Produção e da Base de Instruções de Montagem. O supervisor acessa esses dados para realizar tarefas como:

- definir qual PCI deve ser montada na sequência;

para aquela PCI. Com esta arquitetura e projeto do sistema de RA, as seguintes diretrizes para projetos de RA na indústria foram contempladas:

- DU1- Facilitar o uso (Nielsen J.; Molich, 1990), (Standardization, 2020), (Shneiderman *et al.*, 2016), (Werrlich *et al.*, 2017);
- DU2- Promover a simplicidade (Werrlich *et al.*, 2017);
- DU3- Fornecer instruções adaptativas dinamicamente (Egger; Masood, 2019);
- DU4- Fornecer *feedback* simples; exibir *feedback* direto; interação natural intuitiva; *feedback* personalizado (Funk *et al.*, 2016), (Wang *et al.*, 2016);
- DC1- Reduzir descontinuidades cognitivas entre antigas e novas práticas de trabalho; evitar descontinuidades funcionais ou lacunas nos modos de operação (Lamas *et al.*, 2018);
- DC3- Quanto mais fácil representar o conhecimento, mais fácil será transferi-lo efetivamente (Amo *et al.*, 2018);
- DC4- A aplicação deve ser capaz de selecionar o conteúdo adequado, com base nas suas demandas e situações que ocorram (Damiani *et al.*, 2018);
- DC5- O usuário controla a velocidade de trabalho (Funk *et al.*, 2016);
- DC6- Melhorar a motivação do usuário por auto-informação quantificada (Funk *et al.*, 2016);

Na Tabela 5 é apresentado um resumo das diretrizes atendidas no projeto de RA, bem como a frequência de suas contribuições. Analisando a tabela, pode-se concluir que:

- Todas as diretrizes de usabilidade foram utilizadas, exceção da DU5 que trata da multimodalidade, justificada anteriormente;
- Uma diretriz cognitiva não foi utilizada (DC2- Considerar o estado mental do usuário para induzir um fluxo de trabalho com menor carga cognitiva);
- Todas as diretrizes de ergonomia foram duplamente utilizadas;
- Três diretrizes organizacionais não foram contempladas: DO3, DO6 e DO8.

No caso da diretriz DC2, ela pode ser atendida colocando-se diferentes níveis de informação de RA na interface do monitor, dependendo do tipo de montagem e experiência da operadora, mesmo quando a gamificação está desativada. Sua implementação está em andamento. Com relação à diretriz organizacional DO3 (Desenvolver ferramentas mais intuitivas para criar e alterar o conteúdo de RA sem a necessidade de especialistas), considera-se, como já citado, que

Tabela 5 – Diretrizes contempladas no projeto de RA

	Diretrizes	Frequência
USABILIDADE	DU1	1
	DU2	1
	DU3	1
	DU4	1
	DU5	N
COGNITIVA	DC1	2
	DC2	2
	DC3	1
	DC4	2
	DC5	1
	DC6	1
ERGONOMIA	DE1	N
	DE2	1
	DE3	N
	DE4	N
	DE5	N
ORGANIZACIONAL	DO1	2
	DO2	5
	DO3	N
	DO4	1
	DO5	4
	DO6	N
	DO7	4
	DO8	2

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

ela está além do escopo atual da proposta. Com relação à diretriz organizacional DO6, esta será considerada no momento da utilização dos dados obtidos no posto-piloto e consta do cronograma de atividades dos próximos passos. Com relação à diretriz DO8, ela demanda um estudo de engenharia econômica que pode ser considerado até a conclusão deste trabalho.

Uma possível justificativa pelo uso acentuado de diretrizes de ergonomia no projeto de RA pode ser o fato de que a tarefa envolve, além de esforço cognitivo, acuidade visual e destreza motora, presumindo-se que estas características levem naturalmente a considerações ergonômicas durante o desenvolvimento do projeto.

5.7 PROJETO DA GAMIFICAÇÃO

Após a definição do Projeto de RA, inicia-se a inclusão da gamificação da linha de montagem com o objetivo de, a longo prazo:

- Tornar as tarefas mais lúdicas e prazerosas, aumentando a motivação e o engajamento da operadora para realizá-las

- reduzir a carga cognitiva das tarefas;
- Obter e manter taxas de erros de montagem baixas;
- Obter e manter tempos de montagem baixos;

Para a realização da gamificação, será aplicado o *framework* 5W2H+M (Conejo, 2019), que é genérico em sua concepção e inclui na análise as motivações intrínsecas e extrínsecas do usuário. De acordo com a metodologia 5W2H+M, percorremos todas as dimensões do *framework*, analisando o processo a ser gamificado.

5.7.1 Quem?

São as operadoras da linha, envolvidas diretamente com o processo de montagem das PCIs. No perfil dessas trabalhadoras considera-se:

- Sexo: feminino;
- Faixa etária: de 18 a 50 anos;
- Escolaridade: nível médio;
- Conhecimento: suficiente para leitura de manuais ou descritivo de tarefas, utilização de ferramentas de montagem (alicates, pinças, lupas, identificação dos componentes por cores e forma);
- Principal motivação desse público: perceber a tarefa menos entediante*; reconhecimento pelo trabalho bem realizado*;
- Possível fator de desmotivação: maior controle sobre o processo produtivo individual**;
- Propósito: executar a tarefa em um tempo considerado regular, sem pressões externas e sem erros**.

OBS*: Essas hipóteses precisam ser validadas *in loco* (Klock, 2017).

OBS**: Constatado em entrevista aberta com operadoras líderes da linha de montagem manual da empresa visitada.

Com base nesses dados, constrói-se a *persona* (McGinn; Kotamraju, 2008), (Nunes *et al.*, 2010), (Lee *et al.*, 2016) da linha de montagem manual, a Andréia, como mostrado na Figura 21.

Figura 21 – Andréia



Imagem: [freepick](#)

Background

Andréia tem 20 anos, concluiu o ensino médio trabalhando e ficou noiva recentemente. É uma funcionária assídua e de temperamento suave. Tem boa habilidade manual e coordenação motora. Trabalha na empresa há dois anos. Toma duas conduções para chegar ao trabalho. Mora com os pais. Tem duas irmãs mais novas, ambas no ensino médio. Sua mãe cuida da casa e seu pai trabalha em uma indústria da região.

Metas e Motivação

Andréia deseja fazer um curso superior, provavelmente de Fisioterapia, mas ainda não se decidiu porque os valores das mensalidades são altos. Ela está juntando dinheiro com o noivo para construir uma casa, no mesmo terreno da família, onde fica a casa dos pais. Gosta de passeios ao ar livre e de sair com as amigas de infância, quando pode.

Andréia acha seu trabalho um pouco entediante e não gosta quando sua supervisão acompanha de perto seu desempenho. Gosta de trabalhar no seu ritmo e não se importa muito com o desempenho de suas colegas de trabalho. Acha que algumas regras de montagem dos componentes dificultam sua tarefa.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

5.7.2 O quê?

Baseando-se na lista de questões definidas no projeto de arquitetura do sistema proposto (Bauer *et al.*, 2020), os itens passíveis de gamificação são:

- Tempo de localização do componente;
- Erro/acerto de escolha do componente;
- Erro/acerto de inserção (polaridade) do componente;
- Erro/acerto da ordem de inserção dos componentes;
- Erro/acerto da quantidade total de componentes a ser montada na PCI;
- Tempo de montagem de cada componente;
- Tempo de montagem da PCI;
- Erro de montagem de componente;

Devido às características do projeto usado como referência (Bauer *et al.*, 2020), alguns itens propostos acima podem não ser realizados, mas essa conclusão depende da evolução do projeto, uma vez que atualmente a conferência da montagem está sendo realizada por região de componentes e não por cada componente, individualmente. Assim, o conjunto de itens acima, fica atualmente reduzido a:

- Erro/acerto da quantidade total de componentes montados por região da PCI;
- Erro/acerto da quantidade total de regiões montadas na PCI;
- Tempo de montagem da PCI (parcial e total);

5.7.3 Por quê?

A diversão tornará a tarefa menos monótona, podendo promover a atenção, levando a taxas de erros menores e menor tempo de montagem. O engajamento permitirá que a operadora permaneça em estado de *flow* (Chen, 2007) (Sweetser; Wyeth, 2005), mantendo assim, o interesse e atenção na tarefa que está sendo executada. A motivação para a execução da tarefa será: de ordem extríntrica (Ryan; Deci, 2000), quando considera valores como o reconhecimento da qualidade do serviço realizado, pela apresentação de seus índices como taxa de erros, tipos de erros e tempos de montagem e: de ordem intríntrica, por exemplo, ao se permitir que a própria operadora conheça sua medida de desempenho e possa projetar suas metas de desempenho no sistema, gerando o sentimento de autonomia.

5.7.4 Quando?

Ao término da montagem, após a confirmação do sistema de RA de que a PCI foi montada corretamente, uma tela será apresentada no monitor de seu posto de trabalho, informando dados de produção (tempo de montagem t_m e taxa de erros t_e) e os elementos de gamificação (que serão definidos a seguir). Essas informações permitem à operadora o conhecimento da evolução (ou involução pontual) de seu próprio desempenho. A narrativa e os níveis serão atualizados, eventuais presentes e desbloqueios serão apresentados e os elementos de gamificação cumulativos (como medalhas e troféus) serão atualizados.

5.7.5 Como?

Para esta gamificação, são definidas as dinâmicas mostradas na Tabela 6. O cuidado a ser tomado nesta fase é evitar a desmotivação identificada na fase inicial (Quem?) e promover a motivação.

Para atender aos aspectos de motivação e desmotivação identificados (Conejo, 2019), criou-se a correlação indicada na Tabela 7.

Para tornar a tarefa menos entediante, utiliza-se uma narrativa de jogo, a ser definida pelas operadoras. O tempo em que essa narrativa se desenrola deve ser verificado empiricamente.

Tabela 6 – Dinâmicas do jogo por estímulo

Estímulo desejado	Dinâmica de jogo
Autonomia	Regras
Competência	Progressão
Pertencimento	Ranking*

Fonte: adaptado de (Conejo, 2019).

Tabela 7 – Dinâmicas por motivações

Motivação	Elementos de jogo
Tarefa menos entediante	Narrativa, ficção
Falta de controle da produção	Apresentar informações de tempo e erro
Competição não saudável	Resultados não compartilhados. Ranking percentual
Reconhecimento	Medalhas, troféus, bônus

Fonte: Adaptado de (Conejo, 2019).

Para evitar a competição não saudável e até eventual *bullying* entre colegas, decorrente de um baixo desempenho, os resultados de desempenho apresentados na gamificação ficarão restritos ao conhecimento apenas da operadora e de sua supervisão direta. Dessa forma, tabelas de *ranking* nominativas não serão utilizadas. Será utilizado um sistema de classificação relativo, mostrando a posição do trabalhador em relação aos colegas em termos percentuais.

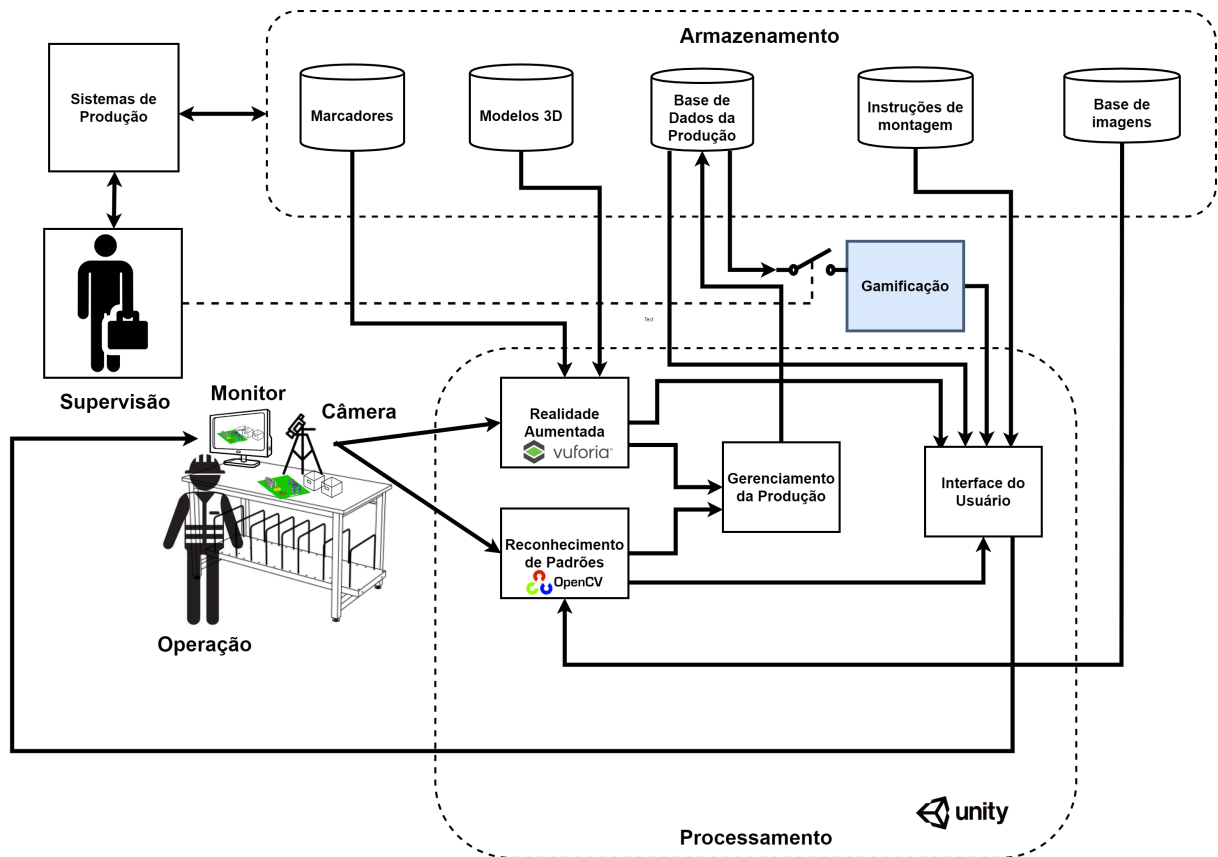
O reconhecimento do trabalho bem executado e dentro dos parâmetros definidos pela empresa dar-se-á por meio de medalhas de conquista e troféus com diferentes valores ou importâncias percebidas pela operadora. Reconhecimentos mais tangíveis, como bônus de algum tipo (em espécie, em banco de horas, em privilégios de escolha de turnos, etc) podem ser considerados, mas a viabilidade precisa ser validada junto a supervisores, gerentes e área de Recursos Humanos.

5.7.6 Onde?

Um sistema completo, agregando a gamificação ao sistema de RA de referência, pode ser visualizado como mostrado na Figura 22, que se constitui da Figura 20 com a inserção do módulo de gamificação (em azul). Os dados gerados pelo sistema de RA na interação com a operadora do posto de trabalho serão utilizados como referência para as KPIs citadas anteriormente e constituirão as métricas pelas quais o sistema poderá ser avaliado em suas diferentes etapas de implantação.

A Figura 23 mostra os elementos de RA que fornecem auxílio à montagem, apresentados no monitor da operadora. Do lado esquerdo da imagem, a etapa de montagem, com a descrição do componente. Na parte central da imagem, a informação da caixa que contém o componente,

Figura 22 – Inserção da gamificação no projeto de RA de referência



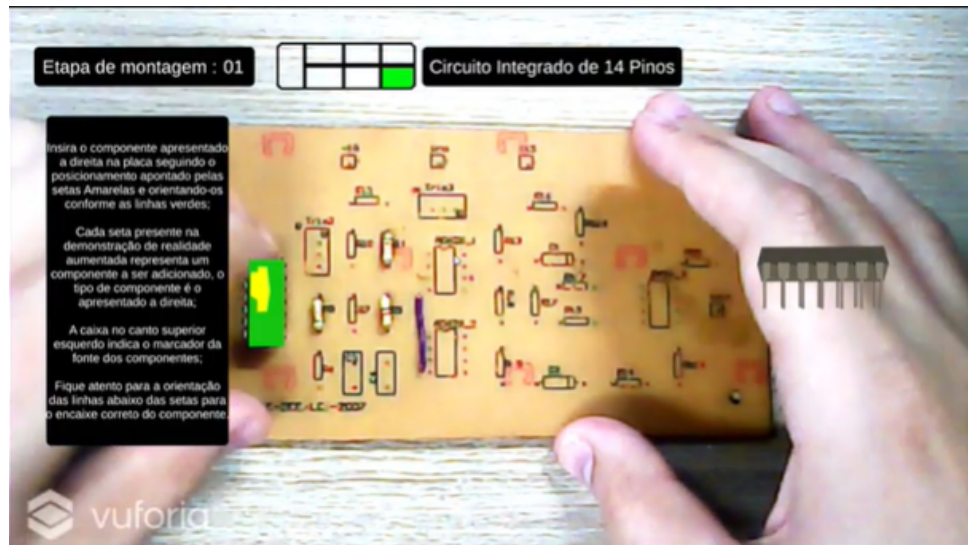
Fonte: adaptado de (Bauer *et al.*, 2020).

realçada na cor verde. Do lado direito, o nome do componente e uma animação em 3D mostrando suas características. Na PCI, uma sinalização de local e inserção do componente é apresentada nas cores verde e amarelo, respectivamente.

As variáveis de gamificação serão apresentadas no monitor ao final da montagem, personalizadas para aquela operadora. As medalhas serão usadas para desempenho pessoal semanal. Troféus serão usados para desempenho pessoal quinzenal, mensal, trimestral, semestral e anual, para melhor tempo de montagem sem erros e menor taxa de erros na linha de montagem inteira (mensal, trimestral, semestral, anual).

A narrativa da gamificação será definida pelas próprias operadoras através de reuniões com entrevistas estruturadas. A visualização dos elementos de gamificação apresentados no monitor da operadora ocorrerá ao final de cada seção de montagem. Optou-se por mostrar a gamificação no final do processo de montagem para que o monitor apresente o mínimo de informações na tela durante a montagem, evitando excesso de informação e aumento de carga cognitiva.

Figura 23 – Informação de RA no monitor da operadora no posto de trabalho



Fonte: Adaptado de vídeo produzido por R. D. Bauer e T. L. Watambak, 2021.

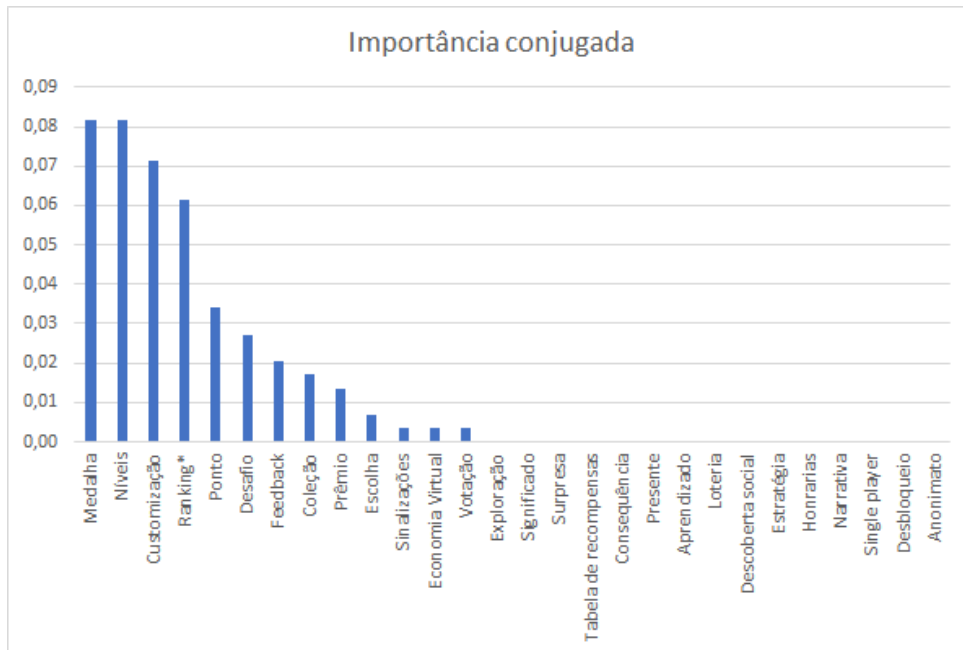
5.7.7 Vetor de Gamificação

A partir dos elementos de gamificação apresentados em (Klock *et al.*, 2020), considerou-se aqueles que poderiam ser utilizados em função da *persona*, do contexto de uso e do ambiente de trabalho. Na Tabela 8 (que se encontra ao final deste capítulo) esses elementos de gamificação foram numerados e para cada um deles foi feita uma análise, verificando-se se o elemento estava mais associado ao indivíduo ou ao grupo, se o reforço era positivo (recompensa ou *feedback* positivo) ou negativo (privação ou *feedback* negativo), se a motivação era intrínseca ou extrínseca, se poderia ser usado (considerando as condicionantes do modelo de gamificação) e porquê. A partir dessa análise, os elementos de gamificação de números 1, 7, 11, 15, 17, 29, 30, 31 e 32 da Tabela 8 foram excluídos. Considerou-se que o elemento de número 17, *Ranking*, possa existir em forma percentual.

Após essa filtragem inicial, os elementos de gamificação restantes (27) foram confrontados com o tipo de jogador de acordo com Bartle (Bartle, 1996). Essa tipologia foi escolhida por ser amplamente utilizada e testada (Klock *et al.*, 2020). Para se estimar a importância de cada elemento da gamificação para os 4 tipos de jogadores, utilizou-se dos dados da Tabela 6 do estudo de Klock et al. (2020) (Apêndice A), adicionando-se uma coluna com os elementos de gamificação mais indicados quando se considera o uso por pessoas do sexo feminino, como mostrado na Tabela 10 do mesmo artigo (Klock *et al.*, 2020) (Apêndice B). A seguir, construiu-se a Tabela 9 (que se encontra ao final deste capítulo), calculando-se a importância relativa de cada elemento, dividindo-se o número de vezes que a sugestão de uso daquele elemento de gamificação aparece nos artigos pelo número de artigos estudados (coluna Importância 1). O mesmo procedimento foi feito para os elementos indicados para uso na gamificação para um público feminino (coluna Importância 2). Em seguida, esses dois valores de importância, para

cada elemento de gamificação, foram multiplicados para se obter uma importância conjugada. O resultado é apresentado na Tabela 9, que então permitiu criar o gráfico apresentado na Figura 24.

Figura 24 – Importância dos elementos de gamificação para todas as tipologias de Bartle para sexo feminino



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Observando-se o gráfico da Figura 24, nota-se um distanciamento da importância conjugada dos 4 primeiros elementos de gamificação em relação ao restante. Dado que a importância desses elementos ficou relevante, eles serão usados como os elementos de gamificação constituintes do vetor de gamificação de *setup*, Vg_{setup} e são, na ordem de importância: Medalhas, Níveis, Customização e Ranking*. A escolha desses elementos iniciais para a gamificação não implica necessariamente na exclusão dos outros, tão pouco na impossibilidade de inclusão de novos elementos, quando da estabilização da gamificação e introdução da etapa adaptativa, por operadora. Este resultado é complementar às escolhas iniciais dos elementos usando o *framework* 5W2H+M, quando indica para uso o elemento "customização".

A supervisão da linha de produção da empresa visitada mostrou que não utiliza o conceito de complexidade da tarefa proposto no Capítulo 4. Ao invés, a empresa se utiliza do critério de estabelecer uma linha de montagem manual piloto para cada novo tipo de PCI que necessita montar. O tempo médio de montagem dessa placa na linha piloto é considerado como tempo-padrão para avaliação de futuras montagens dessa placa. Dessa forma, para este estudo de caso, não será utilizado o índice de complexidade da tarefa. Assim, para esta aplicação específica, considerando as peculiaridades da empresa visitada e os critérios propostos para gamificação, o desempenho da operadora D_t , é obtido de acordo com os seguintes critérios:

- Atribuindo-se ao tempo de montagem médio de cada operadora, t_m , o tempo de montagem

médio dos testes efetuados com a linha-piloto de montagem;

- Atribuindo-se uma taxa de erros inicial t_e nula para a montagem de novos produtos e a t_e histórica para a linha de montagem manual que está em operação e sendo avaliada.

Retomando a definição de Desempenho da tarefa do Capítulo 4 e considerando que o i_c não foi utilizado e t_m foi definido como tempo médio da linha piloto, o desempenho de cada operadora no início da gamificação fica sendo:

$$D_t = f(t_{m-piloto}, 0) \quad (3)$$

O vetor de gamificação de *setup* Vg_{setup} resulta em:

$$Vg_{setup} = f(Persona, [Medalhas, Nveis, Customizacao, Ranking*]) \quad (4)$$

Para períodos Δt definidos após a implantação do Vg_{setup} , o vetor de gamificação de cada operadora passa a incluir a avaliação de sua carga cognitiva, medida através do instrumento NASA-TLX (Hart; Staveland, 1988), (Diniz, 2018), ficando:

$$Vg = f(P_o, TLX, D_t, [Mesmos_ou_outros_elementos_de_gamificacao], t) \quad (5)$$

Ou seja, o vetor de gamificação para cada operadora considera o seu perfil de jogadora, neste caso particular, usando a tipologia de Bartle (Bartle, 1996), uma avaliação de carga cognitiva para aquela tarefa, neste caso particular obtida através do NASA-TLX (NASA, 2021), (Hart; Staveland, 1988), (Diniz, 2018), seu desempenho para uma determinada tarefa, considerando o conjunto de elementos de gamificação utilizado, no momento considerado. A medida de carga cognitiva da tarefa é mantida enquanto o D_t da operadora se mantém ou melhora. Caso seu D_t caia abaixo de um limiar pré-definido, uma nova avaliação de carga cognitiva será efetuada e um novo V_g será gerado.

Uma possível implementação do V_g em um banco de dados para posteriores análises dos resultados ao longo do tempo, com número de elementos de gamificação $n=4$, é apresentada na Tabela 10, onde cada coluna significa:

- id: identificador da linha de registro para o banco de dados;
- id_operador: identificação da operadora que está na linha da montagem;
- data: dia e hora em que a etapa de montagem (passo) foi executada e corresponde atualmente ao momento em que a operadora confirmou a montagem de um grupo de componentes;

- *id_pci*: número da PCI sendo montada;
- *tarefa*: número da tarefa a ser executada;
- *etapa*: número da etapa da tarefa a ser executada;
- *ic_tarefa*: índice de complexidade da tarefa (i_c). No exemplo, um número variando de 1 a 10, com 10 representando a maior complexidade;
- *tipo_jogador*: tipo de jogador de acordo com o framework de tipologias adotado, usado para escolher elementos de gamificação no modo adaptativo dinâmico;
- *tlx*: índice de medida de carga cognitiva. No exemplo, variando de 1 a 10, com 10 representando o maior esforço cognitivo;
- *medalhas*: elemento de gamificação representando conquistas;
- *nível*: elemento de gamificação representando o nível em que a operadora se encontra dentro da narrativa da gamificação;
- *avatar*: elemento de gamificação que representa a aparência do avatar associado à operadora. Quanto maior esse número, mais acessórios conquistados e incorporados ao avatar;
- *ranking*: posição da operadora na narrativa da gamificação em relação às colegas. Pode ser em relação à linha, em relação ao turno ou em relação a todas as operadoras. No exemplo, o desempenho dessa operadora está 75% acima do desempenho das demais;
- *tm*: tempo de montagem em minutos t_m ;
- *te*: taxa de erros em porcentagem t_e .

Dessa forma, inicia-se a Gamificação da linha de montagem manual através de um vetor de gamificação de *setup*, usado para todas as operadoras da linha e que considera características das operadoras encontradas por meio de observação *in loco* da linha de montagem analisada na empresa visitada e a definição de uma *persona*. A partir do uso continuado dessa linha de montagem para uma determinada tarefa, pode-se obter o vetor de gamificação para cada operadora, considerando particularidades de seu perfil (neste caso, em particular, perfil de jogadora), sua avaliação de carga cognitiva e desempenho da tarefa de uma determinada montagem, em determinado período de tempo.

Tabela 8 – Filtragem prévia dos elementos de gamificação pela *persona*, tarefa e contexto de uso

Item	Elementos de Gamificação	Individual	Reforço -	Reforço +	Social	Intrínseca	Extrínseca	Usaria?	Por quê?
1	Anarquia	n	n	s	s	s	n	n	Não condiz com comportamento desejado em linha de montagem.
2	Anonimato	s	n	s	n	s	n	s	Permite comparações individuais anônimas.
3	Medalha	s	n	s	n	s	n	s	Permite a constatação do bom desempenho.
4	Desafio	s	n	s	s	s	n	s	Permite a expressão da iniciativa e criatividade.
5	Escolha	s	n	s	s	s	s	s	Permite a autonomia de decisão.
6	Coleção	s	n	s	s	s	s	s	Permite a realização de objetivos de longo prazo.
7	Competição	n	s	n	s	s	n	n	Pode induzir a erro e tensão na linha de montagem.
8	Consequência	s	n	s	n	s	s	s	Permite a expressão da individualidade.
9	Customização	n	n	s	s	s	s	s	Permite a quebra de rotina.
10	Surpresa	s	n	s	n	s	s	s	Permite a quebra de rotina.
11	Emoção	s	n	s	s	s	n	n	Não condiz com comportamento desejado em linha de montagem.
12	Exploração	s	n	s	n	s	n	s	Pode colaborar com opções para a narrativa
13	Feedback	s	n	s	s	s	n	s	Permite a compreensão melhor da tarefa e do processo.
14	Presente	s	n	s	s	s	s	s	Permite socialização em nível desejado. Pode gerar empatia.
15	Guilda	n	s	n	s	s	n	n	Pode induzir competição não saudável entre grupos. Possíveis "panelinhas".
16	Honrarias	s	n	s	s	s	s	s	Permite o reconhecimento pelo trabalho bem feito.
17	Ranking	n	s	n	s	s	n	n	Permite a comparação e competição não saudável.
18	Aprendizado	s	n	s	n	s	s	s	Permite o aprimoramento na execução da tarefa.
19	Níveis	s	n	s	n	s	s	s	Permite a constatação da evolução das habilidades individuais.
20	Loteria	s	n	s	s	s	s	s	Permite a motivação pela premiação randômica. Quebra de rotina.
21	Significado	s	n	s	n	s	s	s	Permite a identificação dos objetivos individuais com os da empresa.
22	Narrativa	s	n	s	n	s	n	s	Permite a criação de uma jornada gamificada
23	Ponto	s	n	s	n	s	s	s	Permite a correlação com o desempenho na tarefa.
24	Prêmio	s	n	s	s	s	s	s	Permite o reconhecimento material pelo bom desempenho na tarefa.
25	Tabela de recompensas	s	n	s	s	s	s	s	Permite a manutenção da motivação pela realização de um bom trabalho.
26	Simulações	s	n	s	n	s	s	s	Permite a compreensão melhor da tarefa e do processo.
27	Single player	s	n	s	n	s	s	s	Aplicável no contexto de linha manual de montagem com estações.
28	Descoberta social	n	n	s	s	s	n	n	Permite o conhecimento do perfil dos colegas de trabalho.
29	Rede social	n	n	s	s	s	n	n	Permite a distração durante a execução das tarefas.
30	Pressão social	n	s	n	s	s	n	n	Permite que outros colegas influenciem o comportamento no trabalho.
31	Status social	n	s	n	s	s	n	n	Permite que outros colegas influenciem o comportamento na gamificação.
32	Pressão temoral	s	n	s	n	s	s	n	Pode induzir a erro e tensão na linha de montagem.
33	Estratégia	s	n	s	n	s	s	s	Pode levar a formas mais eficientes de se efetuar as tarefas.
34	Desbloqueio	s	n	s	n	s	s	s	Permite a motivação pela tarefa bem realizada.
35	Economia Virtual	n	n	s	s	s	s	s	Pode servir como troca por benefícios reais.
36	Votação	n	n	s	s	s	s	s	Permite atuar em processos decisórios de forma anônima.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Tabela 9 – Elementos de gamificação para todas as tipologias de Bartle para o sexo feminino

Elementos de Gamificação	Achiever	Explorer	Killer	Socializer	Frequência 1	Importância1	Frequência 2	Importância 2	Importância conjugada
Medalha	2	2	3	1	8	0,19	3	0,43	0,08
Níveis	3	1	3	1	8	0,19	3	0,43	0,08
Customização	2	2	1	2	7	0,17	3	0,43	0,07
Ranking*	2	1	3		6	0,14	3	0,43	0,06
Ponto	1	2	2		5	0,12	2	0,29	0,03
Desafio	3	2	2	1	8	0,19	1	0,14	0,03
Feedback	2	2	1	1	6	0,14	1	0,14	0,02
Coleção	1	3	1		5	0,12	1	0,14	0,02
Prêmio	1	1	2		4	0,10	1	0,14	0,01
Escolha	1	1			2	0,05	1	0,14	0,01
Sinalizações				1	1	0,02	1	0,14	0,00
Economia Virtual	1				1	0,02	1	0,14	0,00
Votação		1			1	0,02	1	0,14	0,00
Exploração	1	2	1		4	0,10		0,00	0,00
Significado	1	1	1	1	4	0,10		0,00	0,00
Surpresa	1	1			2	0,05		0,00	0,00
Tabela de recompensas	1	1			2	0,05	1	0,00	0,00
Consequência					1	0,00		0,14	0,00
Presente				1	1	0,02		0,00	0,00
Aprendizado		1			1	0,02		0,00	0,00
Loteria					0	0,00	1	0,14	0,00
Descoberta social				1	1	0,02		0,00	0,00
Estratégia		1			1	0,02		0,00	0,00
Honrarias						0,00		0,00	0,00
Narrativa						0,00		0,00	0,00
Single player						0,00		0,00	0,00
Desbloqueio						0,00		0,00	0,00
Anonimato						0,00		0,00	0,00

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024, com dados de (Klock *et al.*, 2020).

Tabela 10 – Exemplo de linha de registro para o banco de dados do GRAAL

id	id_operador	data	id_pci	tarefa	etapa	ic_tarefa(1-10)	tipo_jogador	tlx (1-10)	medalhas	nível	avatar	ranking(%)	tm (min)	te (%)
10	43208	16/04/2021 02:35:42	rmk23453	324	3	2,7	achiever	4,7	3	2	37	75	1,32	4

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

5.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Este Capítulo iniciou com a apresentação de um conjunto de observações que caracterizam a linha de montagem manual que se pretende utilizar como prova de conceito. Foram consideradas as características dos produtos montados (PCIs), de que forma a operação de montagem ocorre e foi apresentado o ambiente de trabalho encontrado, indicando-se as KPIs a serem medidas. Em seguida, foi apresentado o sistema de RA sobre o qual será agregada a gamificação. As principais decisões de hardware e software foram apresentadas e um projeto de arquitetura definido. Com o projeto do sistema de RA definido, iniciou-se o projeto de gamificação para essa linha de montagem, definindo-se os *frameworks* utilizados e de que forma a gamificação se relaciona com o sistema de RA.

Devido às características da linha de montagem manual visitada, não foi utilizado o índice de complexidade da tarefa i_c , que mostrou-se na prática desnecessário. Presume-se que para tarefas mais complexas e componentes de custo elevado, com o produto final com alto valor agregado, esse índice seja utilizado.

Notou-se que a definição do vetor de gamificação depende de estudos prévios da utilização de elementos de gamificação com diferentes *frameworks*. A utilização dos elementos de gamificação de acordo com a tipologia de Bartle e sua confrontação com avaliações efetuadas para o público feminino, permitiram a definição dos elementos iniciais de gamificação, compondo o vetor de gamificação de *setup* para esta prova de conceito.

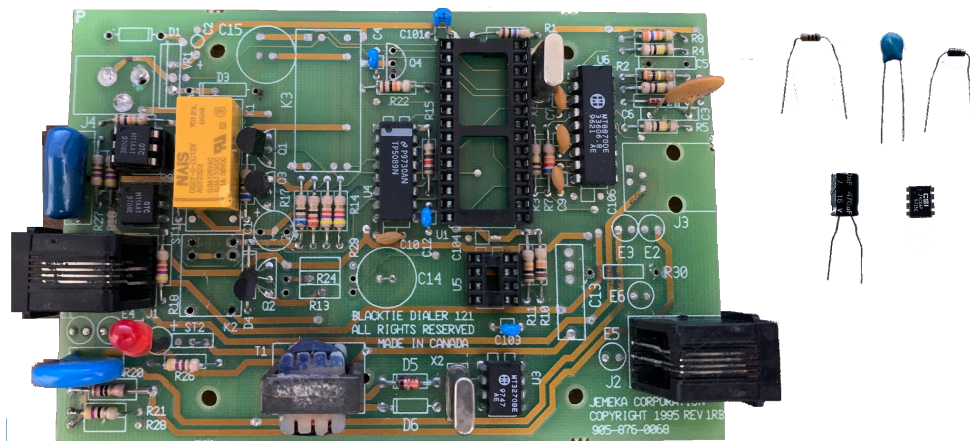
Observa-se que o projeto da gamificação da forma como foi proposto, usa uma abordagem que considera o usuário (perfil das operadoras, como sendo o Público da Aplicação) sem, no entanto, perder de vista as necessidades primordiais da empresa (t_m e t_e , como representantes do Ambiente e Contexto da Aplicação). Espera-se que esta proposta, considerando esse balanceamento entre necessidades e motivações da operadora da linha de montagem manual e a melhoria e/ou manutenção das KPIs que a empresa adota, possa conduzir a resultados que atendam aos interesses dos atores envolvidos no processo.

6 AVALIAÇÃO DO GRAAL

Todas as decisões tomadas nesta sessão seguiram as diretrizes para a geração de um sistema para linhas de montagem manuais com RA (Agati *et al.*, 2020). Uma abordagem cliente-servidor foi escolhida considerando-se que o banco de dados pode não estar necessariamente no mesmo local físico em que se encontra a linha de montagem em uma situação de chão de fábrica real, conforme observamos visitando a empresa parceira.

Para a avaliação do GRAAL foram usadas 3 placas de circuito impresso, já montadas industrialmente, e das quais foram retirados alguns componentes para os testes. Decidiu-se escolher um conjunto de componentes que pudesse gerar algum tipo de dúvida quando da inserção dos terminais nas placas, com relação à polaridade e orientação espacial de pinagem. Foram escolhidos resistores de cores semelhantes, diodos, capacitores eletrolíticos, transistores e circuitos integrados. A Figura 25 mostra a PCI e alguns dos tipos de componentes utilizados.

Figura 25 – PCI e alguns componentes usados na avaliação do GRAAL



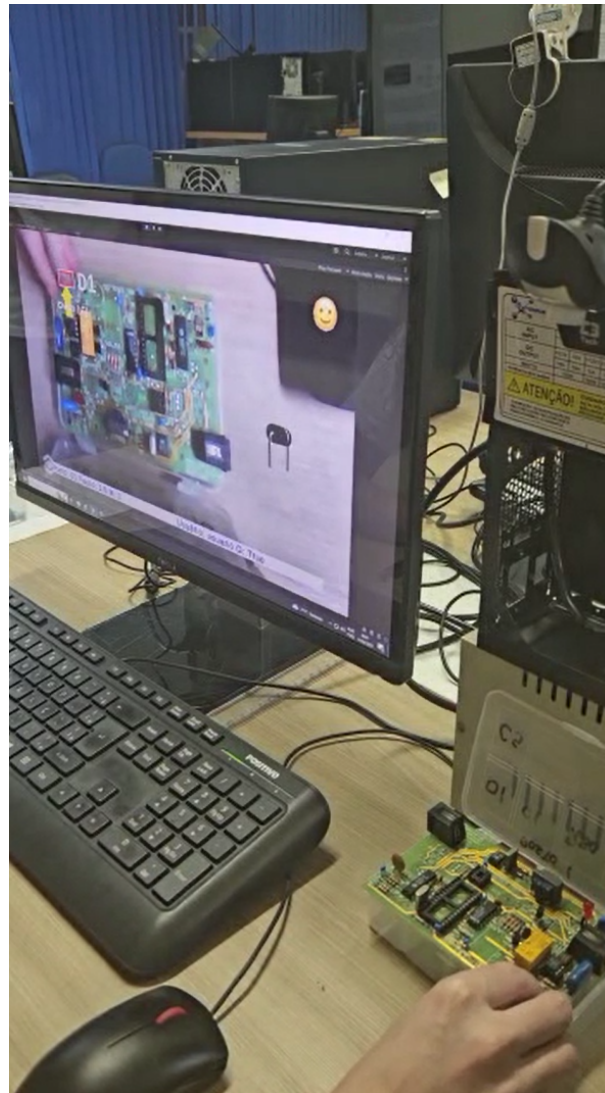
Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Partindo-se do sistema desenvolvido em (Bauer *et al.*, 2020), realizou-se inicialmente a inclusão de imagens da PCI a partir da câmera do computador, com fotos das diversas situações de montagem, incluindo a placa em seus estágios inicial e final. Essas imagens foram utilizadas para o reconhecimento automático da placa. A seguir, a biblioteca de componentes foi atualizada.

A Figura 26 mostra uma simulação em laboratório do ambiente de montagem de uma estação de trabalho. É uma foto com a mão da operadora no momento de inserção de um componente e os elementos de hardware do sistema: PC, monitor, teclado e mouse. Na frente do PC existe uma PCI onde os componentes serão inseridos. Uma câmera posicionada acima da PCI e fixada em frente à torre do PC, captura a imagem da PCI, mostrada no monitor, com elementos virtuais de RA sobrepostos a ela. Depois de fazer login e escolher a PCI, o sistema de RA mostra no monitor uma figura retangular sobreposta ao plano da mesa, para orientar o operador no posicionamento da PCI no local onde o sistema de RA reconhece a placa.

A Figura 27 mostra, em cada etapa, a posição onde o operador deve inserir o componente,

Figura 26 – Implementação de hardware do GRAAL



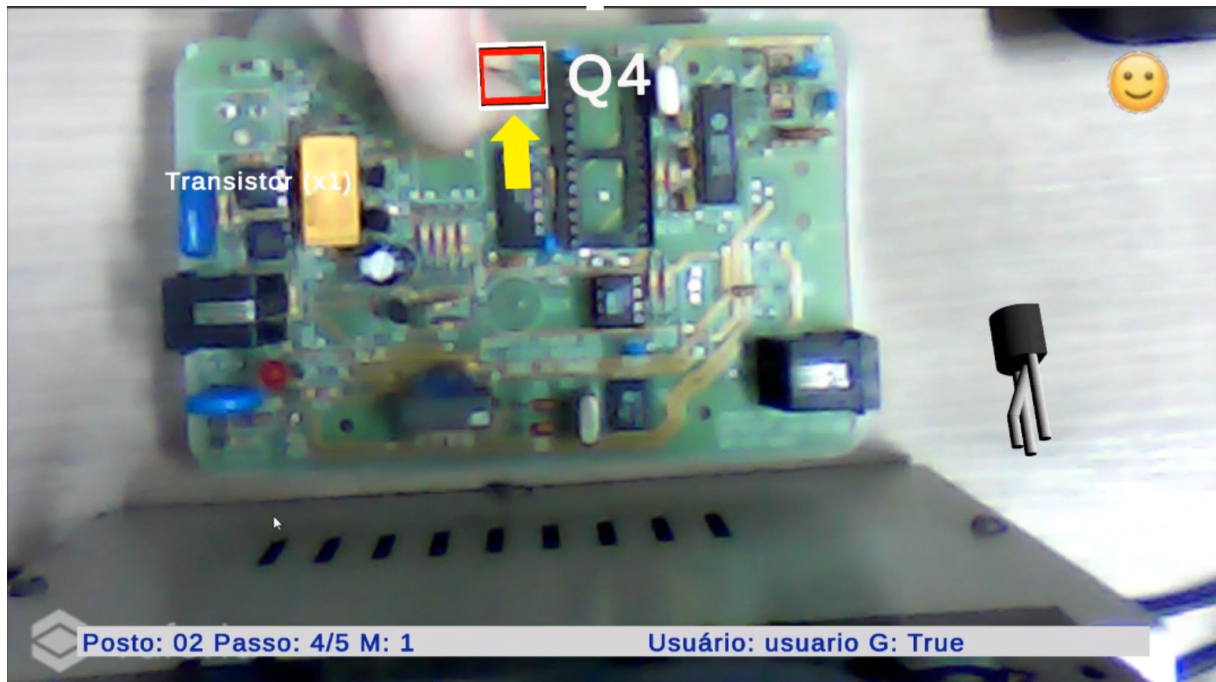
Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

com a *tag* do componente (Q4) ao lado da área retangular. No centro do monitor, à direita, há uma animação 3D, mostrando o componente de diferentes ângulos, ajudando o operador a escolher a polaridade ou a disposição correta dos terminais do componente, quando for o caso (um diodo, um transistor, ou um circuito integrado, por exemplo).

Na posição inferior da Figura 27, existe uma barra de *status* mostrando, da esquerda para a direita, o número da estação de trabalho (Posto), o número do passo (Passo) e o número de PCIs montadas até o momento (M). O exemplo mostra o Posto 2 com o passo 4 (4 de 5) já feito, durante a primeira montagem (M=1).

No lado direito da barra de *status* são informados o nome do usuário (Usuário) e o estado de gamificação (G). A condição G informa se elementos de gamificação estão sendo vistos (verdadeiro/true) ou não (falso/false). A operadora ou sua supervisão têm a prerrogativa de ativar/desativar a gamificação pelo teclado quando necessário. O módulo de Gamificação

Figura 27 – Implementação de hardware do GRAAL



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

foi desenvolvido de forma que o sistema de RA continue a ser executado normalmente, caso a Gamificação seja desligada. Para se desligar/ligar a Gamificação foi usada uma combinação de 3 teclas apertadas simultaneamente, sendo R+A+M as teclas utilizadas para se desligar a Gamificação e G+A+M as teclas usadas para se ligar a Gamificação. Desabilitar a gamificação não impede o registro contínuo dos dados de desempenho da operadora e de produção, no banco de dados do sistema.

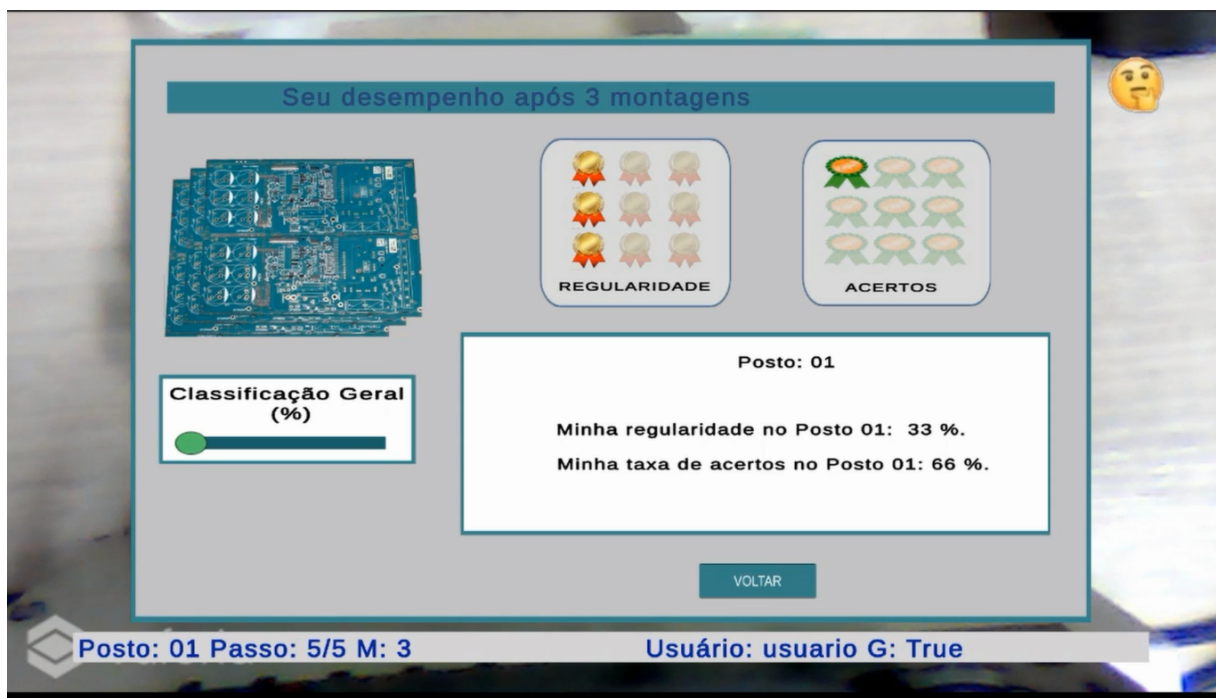
Durante as etapas de montagem, um emoji situado na posição superior direita da tela, conforme mostrado na Figura 27, representa o desempenho cumulativo da operadora. Esse é o único elemento de gamificação e de feedback apresentado na tela durante a montagem, para não desviar a atenção da operadora da tarefa que está sendo executada. O emoji pode assumir três estados diferentes: feliz, pensativo e preocupado.

- O emoji permanece feliz enquanto a operadora monta seus componentes no tempo correto (admite-se um desvio padrão) para 60% ou mais das PCIs montadas e, ao mesmo tempo, tendo uma taxa de acerto de 60% ou mais de PCIs montadas corretamente;
- O emoji fica pensativo se um (ou ambos) desses parâmetros ficar abaixo de 60%, mas ainda acima de 30%;
- Se um (ou ambos) dos parâmetros estiver abaixo do limite de 30%, o emoji fica preocupado.

O processo é dinâmico, podendo o emoji retornar ao estado desejado conforme a operadora aumenta seus índices de produtividade durante o turno. Os níveis limites são determinados pela supervisão da linha de montagem com base no desempenho anterior da linha de montagem e das operadoras.

Após as M montagens, o desempenho cumulativo da operadora é mostrado na tela. A Figura 28 ilustra esse momento após a montagem de 3 PCIs.

Figura 28 – Feedback de desempenho cumulativo da operadora após M montagens



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Neste momento, outros elementos de gamificação são mostrados na tela da operadora. As medalhas são usadas para desempenhos pessoais semanais, taxas de regularidade e taxas de acerto (mensal, trimestral, semestral e anual). Cada vez que a operadora termina sua tarefa no tempo desejado, um contador é incrementado. A regularidade pode então ser expressa como um valor percentual entre este contador e todas as PCIs montadas até aquele momento. É apresentada como o primeiro valor mostrado em porcentagem na Figura 28 com o título "Minha Regularidade no Posto [número do posto]". A taxa de acerto é a porcentagem entre as PCIs montadas corretamente e o total de PCIs montadas. A taxa de acerto é apresentada com o título "Minha taxa de acertos no Posto [número do posto]". Os nomes das variáveis foram traduzidos em frases e adaptados ao público. Foi preferível mostrar a taxa de acertos (como feedback positivo) ao invés das taxas de erros.

Desta forma, a operadora tem retorno periódico sobre o seu desempenho. Para que a operadora saiba como está seu desempenho em relação às colegas, foi criada uma barra de

A operadora tem a opção de receber um *link* (6) para posteriormente acessar informações sobre a cidade no nível do jogo e também receber um link para posteriormente editar seu avatar (7) com os elementos conquistados por sua atuação. O último botão (verde) serve para iniciar uma nova tarefa (8), programada para iniciar em um horário pré-determinado caso a operadora não o pressione previamente.

6.1 AVALIAÇÃO

O projeto de pesquisa com o título "Gamificação de Linhas de Montagem Manuais com Realidade Aumentada para a Indústria 4.0", foi submetido ao Conselho de Ética para Pesquisa em Seres Humanos (CEPSH) desta universidade que, após as devidas alterações indicadas, emitiu o parecer favorável (CAAE 51463621.7.0000.0118) em 17/11/2021.

Para se obter uma avaliação abrangente do modelo de Gamificação, optou-se por procurar o maior número possível de especialistas que estivessem envolvidos com RA e Gamificação. Foram enviados e-mails para especialistas de todo o país, convidando-os a responderem um questionário online. E-mails de especialistas foram selecionados das seguintes fontes:

- Autores de artigos encontrados em mapeamento sistemático da literatura (Agati *et al.*, 2020);
- Autores da área de AR que publicaram no Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada (SVR) entre 2015-2020;
- Supervisores e operadores de empresa parceira;
- Profissionais de linha de montagem manual de PCIs;
- Estudantes de Ciência da Computação e Engenharia Elétrica;
- Grupo de pesquisa conhecido.

O tempo médio para preenchimento do questionário foi de 13 minutos. Foi dado um prazo de 15 dias para avaliação e, posteriormente, prorrogado por mais 15 dias. De um total de 248 e-mails enviados, 10 deles retornaram com erro, principalmente do tipo “e-mail não encontrado/acessível”. Dos 238 e-mails válidos restantes, 34 especialistas responderam ao questionário (14,28%).

O questionário teve a seguinte estrutura (Apêndice C):

- Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e botão de consentimento;
- Questões demográficas;
- Vídeo de Apresentação do GRAAL, com 5 min de duração;

- Questões de aceitação de tecnologia;
- Questões de aceitação da Gamificação;
- Questões abertas sobre o sistema.

Para as questões sobre aceitação de tecnologia foi utilizado o Questionário TAM 3 (*Technology Acceptance Model 3*) (Anexo A). Utilizou-se o TAM 3 porque esse questionário foi estatisticamente avaliado (Venkatesh; Bala, 2008), usado em várias pesquisas (Marangunić; Granić, 2015) e ter contemplado a evolução teórica dos construtos (Parreira *et al.*, 2018). O TAM 3 é composto de 51 questões envolvendo 16 construtos: Utilidade Percebida (UP), Facilidade de uso percebida (PEOU), Autoeficácia do computador (CSE), Percepções de controle externo (PEC), Diversão no computador (CPLAY), Ansiedade do computador (CANX), Prazer percebido (ENJ), Usabilidade objetiva (OU), Norma Subjetiva (SN), Voluntariado (VOL), Imagem (IMG), Relevância do Trabalho (REL), Qualidade do resultado (OUT), Demonstrabilidade de resultado (RES), Intenção Comportamental (BI) e Uso (USE). No caso desta pesquisa, como se trata de uma avaliação empática dos especialistas, atuando como se usuários fossem, as questões envolvendo os seguintes construtos foram excluídas: Diversão no computador (CPLAY), Ansiedade do computador (CANX), Norma Subjetiva (SN), Imagem (IMG), Intenção Comportamental (BI) e Uso (USE).

Para as questões sobre a aceitação da Gamificação foi utilizado o Questionário GAMEX (*Gameful Experience*) (Anexo B). Utilizou-se o GAMEX por ter esse questionário sua estrutura validade estatisticamente (Venkatesh; Bala, 2008) e por ser utilizado em outras pesquisas de forma bem sucedida (Parreira *et al.*, 2018). O GAMEX é composto de 27 questões que envolvem 6 construtos: Prazer, Absorção (Imersão), Pensamento Criativo, Estimulação, Ausência de Afetação Negativa e Domínio. Considerou-se que todas as perguntas poderiam ser mantidas nesta avaliação do sistema pelos pesquisadores, ficando o GAMEX mantido em sua forma original. Ambos os questionários utilizam uma escala (Likert) de 7 pontos, onde 1 significa "Discordo Totalmente" e 7 significa "Concordo Totalmente".

6.1.1 Perguntas demográficas

Quanto ao sexo dos respondentes, 30 (88,24%) dos especialistas eram do sexo masculino, 3 especialistas eram do sexo feminino (8,82%) e 1 (2,94%) dos respondentes escolheu a opção "Prefiro não responder".

Dois dos respondentes não declararam a idade. 40,62 % dos respondentes (13 entrevistados) tinham entre 41 e 50 anos; 34,37% (11) tinham idade variando de 32 a 40 anos; 18,75 % (6) tinham idade variando de 23 a 31 anos; e 6,25 % (2) tinham idade variando de 50 a 59 anos. 47,06 % dos respondentes (16) possuíam doutorado. grau, 29,41 % deles (10) possuíam mestrado e 23,53 % deles (8) possuíam ensino superior.

Quanto à Área Profissional, 82,35%(28) dos respondentes atuavam na área de Ciências Exatas (Engenharias, Ciências da Computação, Matemática); 14,71 % (5) deles atuavam na área de Ciências Humanas (Psicologia, Pedagogia) e, 2,94 % (1) atuavam na área de Ciências Biomédicas.

Em relação ao conhecimento de RA dos respondentes, numa escala de 1 a 5, onde 1 significava “não sei nada sobre RA” e 5 significava “sou especialista em RA”, 97,06 % das respostas foram iguais ou acima do meio da escala (valor 3), denotando um público com conhecimento suficiente sobre assuntos relacionados à RA, com valor médio de $4,24 \pm 0,82$.

Em relação ao conhecimento de Montagem Manual, utilizando a mesma escala de 1 a 5, as respostas mostraram que a maioria (52,94 % ou 18 entrevistados) dos respondentes escolheu as duas primeiras opções, denotando que possuem algum conhecimento sobre montagem manual. O valor médio foi $2,59 \pm 1,39$.

6.2 TAM 3

A Tabela 11 apresenta a média e o desvio padrão de cada questão do TAM 3 e a média e o desvio padrão de cada construto (como um todo).

6.2.1 Utilidade Percebida (UP)

Os entrevistados concordaram que o GRAAL pode ser considerado útil. A resposta mais consensual foi a questão UP1, que indica que o GRAAL pode melhorar o desempenho do operador no trabalho. A melhor pontuação foi para a questão UP4 que indica que os especialistas consideraram o GRAAL útil no trabalho.

6.2.2 Facilidade de uso percebida (FUP)

Todas as questões tiveram resultado médio acima do valor central da escala (4), o que indica que os respondentes consideraram o GRAAL de fácil utilização. As respostas à pergunta FUP3 sugerem um consenso de que os entrevistados consideraram o GRAAL fácil de usar. As respostas à pergunta FUP4 sugerem que o GRAAL pode melhorar sua flexibilidade para permitir ao operador o que ele deseja fazer enquanto usa o sistema.

6.2.3 Autoeficácia do Computador (AEC)

Em relação à Autoeficácia do Computador (AEC), os entrevistados foram solicitados a ler o seguinte antes de responder: "Eu poderia concluir o trabalho usando GRAAL. . .". Os resultados sugerem que o GRAAL possui todos os requisitos que o operador precisa para utilizar o sistema com eficácia. As respostas à questão AEC1 detalham a utilização do GRAAL sem qualquer ajuda externa, tendo a questão obtido a melhor pontuação e simultaneamente o menor

Tabela 11 – Resultados do TAM 3 (n=34)

Indicador	Assertiva	$\mu \pm \sigma$	Construído
UPI	Usar o GRAAL melhora meu desempenho no trabalho	5.56±0.90	
UP2	Usar o GRAAL em meu trabalho aumenta minha produtividade	5.29±1.13	
UP3	Usar o GRAAL aumenta minha eficácia no trabalho	5.47±1.15	
UP4	Acho o GRAAL útil no meu trabalho	5.74±1.05	5.51±1.03
UTILIDADE PERCEBIDA (UP)			
FUPI	Minha interação com o GRAAL é clara e compreensível	5.24±1.01	
FUP2	Interagir com o GRAAL não requer muito esforço mental	5.32±1.17	
FUP3	Acho o GRAAL fácil de usar	5.71±0.94	
FUP4	Acho fácil fazer com que o GRAAL faça o que eu quero	4.67±1.25	5.23±1.09
FACILIDADE DE USO PERCEBIDA (FUP)			
AEC1	Eu poderia concluir o trabalho usando o GRAAL. . .	5.52±0.89	
AEC2	. . . se não houvesse ninguém por perto para me dizer o que fazer enquanto eu o uso	5.35±0.94	
AEC3	. . . se eu apenas tivesse o recurso de ajuda embutido para obter assistência	5.00±1.47	
AEC4	. . . se alguém me mostrasse como fazer primeiro	4.82±1.54	5.17±1.21
AUTO-EFICÁCIA DO COMPUTADOR (AEC)			
REL1	No meu trabalho, o uso do sistema é importante	4.79±1.54	
REL2	No meu trabalho, o uso do sistema é relevante	5.03±1.33	
REL3	O uso do sistema é pertinente às minhas várias tarefas relacionadas ao trabalho	4.85±1.47	
RELEVÂNCIA NO TRABALHO (REL)			
QR1	A qualidade do resultado que recebo do GRAAL é alta	4.82±1.10	4.89±1.44
QR2	Não tenho nenhum problema com a qualidade da saída do GRAAL	5.03±0.98	
QR3	Eu considero os resultados do GRAAL excelentes	5.03±0.86	
QUALIDADE DO RESULTADO (QR)			
RES1	Não tenho dificuldade em contar aos outros sobre os resultados do uso do sistema	5.44±1.22	4.96±0.98
RES2	Acredito que poderia comunicar a outras pessoas as consequências do uso do sistema	5.76±0.82	
RES3	Os resultados do uso do sistema são evidentes para mim	5.38±0.95	
RES4	Eu NÃO teria dificuldade em explicar por que usar o sistema pode ou não ser benéfico*	5.18±1.41	5.19±1.10
DEMONSTRABILIDADE DO RESULTADO (RES)			
	AValiação GLOBAL DO TAM 5.16±1.14		

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

desvio padrão deste grupo de questões. As respostas à pergunta AEC4 sugerem que o operador não precisa ter aprendido um sistema semelhante para usar o GRAAL de forma eficiente.

6.2.4 Relevância do trabalho (REL)

As respostas à pergunta REL2 sugerem um consenso sobre a relevância do uso do GRAAL no trabalho. As respostas à pergunta REL1 sugerem que o GRAAL pode não ser o recurso mais importante que um operador pode ter durante o trabalho de montagem.

6.2.5 Qualidade do Resultado (QR)

As respostas à pergunta QR1 sugerem que a qualidade da produção do GRAAL pode ser melhorada, embora as respostas às outras duas perguntas, QR2 e QR3, sugiram que a qualidade da produção é alta.

6.2.6 Demonstrabilidade do Resultado (RES)

As respostas à pergunta RES2 sugerem que os operadores teriam pouca dificuldade em contar aos outros sobre os resultados do uso do GRAAL. As respostas à pergunta RES4 sugerem que os entrevistados teriam pouca dificuldade em explicar por que o uso do GRAAL pode ou não ser benéfico. Este resultado está alinhado com as respostas à pergunta RES2. A questão RES4 foi modificada para uma proposição afirmativa e o valor médio trasladado passou a ser $5,18 \pm 1,41$. Essa estratégia permitiu o cálculo do valor global médio do TAM 3.

6.3 GAMEX

A seguir, são apresentadas as respostas dos respondentes ao GAMEX em relação à Gamificação do GRAAL. O respondente número 2 não respondeu a esta parte do Questionário e foi excluído, ficando portanto $n=33$ respostas para esta sessão de avaliação. A Tabela 12 é o resultado das respostas para os construtos considerados. A cor verde significa o maior valor médio enquanto a cor vermelha significa o menor valor médio entre as respostas do construto e da mesma forma, entre os valores médios dos construtos.

6.3.1 Prazer

Todas as 6 respostas tiveram valor médio acima do valor central da escala Likert (4), sugerindo que os entrevistados concordaram que os jogadores se divertiriam enquanto estivessem usando o GRAAL. As 2 últimas questões (PRAZ5 e PRAZ6) tiveram valor médio abaixo dos anteriores, sugerindo que embora o uso do GRAAL possa ser agradável, não é necessariamente visto como uma atividade divertida em que os operadores se envolveriam se não fossem solicitados. Pode-se notar que o desvio padrão da resposta à pergunta PRAZ6 é maior que o

Tabela 12 – Resultados do GAMEX (n=33)

Critério	$\mu \pm \sigma$	Construct
PRAZ1	4.82±1.31	
PRAZ2	5.24±1.45	
PRAZ3	4.76±1.42	
PRAZ4	5.06±1.40	
PRAZ5	4.21±1.38	
PRAZ6	4.21±1.69	
	PRAZER (PRAZ)	4.72±1.44
AB1	2.91±1.37	
AB2	2.94±1.40	
AB3	3.19±1.48	
AB4	2.42±1.18	
AB5	2.58±1.23	
AB6	2.88±1.06	
	ABSORÇÃO (AB)	2.82±1.29
PC1	4.00±1.63	
PC2	3.52±1.56	
PC3	4.39±1.51	
PC4	3.52±1.47	
	P. CRIATIVO(PC)	3.86±1.54
EST1	4.97±1.04	
EST2	3.09±1.35	
EST3	2.97±1.41	
EST4	4.47±1.13	
	ESTIM. (EST)	3.88±1.23
ASN1	2.41±1.45	
ASN2	1.85±1.08	
	A. S. NEG. (ASN)	2.13±1.27
DOM1	4.76±1.16	
DOM2	3.76±1.35	
DOM3	4.67±1.27	
DOM4	4.88±1.12	
	DOMIN. (DOM)	4.42±1.23

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

desvio padrão das outras respostas, sugerindo que esta resposta foi menos consensual entre os entrevistados.

6.3.2 Absorção

Os valores às respostas das 6 questões ficaram abaixo do valor central da escala Likert (4), sugerindo que os respondentes discordam que o GRAAL promove a absorção, portanto não induzindo o(a) operador(a) a um estado de fluxo. Nesse sentido, a resposta à questão AB4 apresentou o menor valor para este grupo, com o segundo menor valor de desvio padrão, sugerindo um consenso em torno deste tema.

6.3.3 Pensamento Criativo

A única resposta acima do valor central da escala Likert (4) foi à Questão PC3, sugerindo que os entrevistados concordaram que os (as) operadores(as) podem estar curiosos o suficiente para explorar a gamificação do GRAAL. As questões PC2 e PC4 tiveram os valores mais baixos neste grupo, sugerindo que os entrevistados concordaram que o GRAAL pode não induzir os(as) operadores(as) a serem criativos(as) ou aventureiros(as). A questão PC4 foi a mais consensual do grupo de questões.

6.3.4 Estimulação

Nas respostas, temos duas questões com valores médios acima do valor central da escala Likert (4): Questões EST1 e EST4. A questão EST1, com maior média e menor valor de desvio padrão do grupo desta questão, sugere que os respondentes concordam que os(as) operadores(as) podem se sentir estimulados ao usar o GRAAL. A questão 4 sugere que a gamificação GRAAL pode estimular o(a) operador(a) durante a sua utilização. Por outro lado, as respostas às questões EST2 e EST3 sugerem que o(a) operador(a) pode não se sentir nervoso(a) ou frenético(a).

6.3.5 Ausência de Sensação Negativa

As duas questões ficaram muito abaixo do valor central da escala Likert (4), sugerindo que os entrevistados discordaram que o GRAAL induziria os(as) operadores(as) a estados negativos, como ficar chateado ou hostil.

6.3.6 Dominância

A questão DOM4 apresentou o maior valor médio e o menor valor de desvio padrão acima do valor central da escala Likert, sugerindo que os entrevistados concordaram que os(as) operadores(as) podem estar confiantes ao realizar as tarefas enquanto usam o GRAAL. As questões DOM1 e DOM3, cujas respostas ficaram acima do valor central da escala Likert, foram aquelas em que os respondentes concordaram que o GRAAL pode ajudar o(a) operador(a) a ser

mais autônomo(a) e sentir-se no comando. Por outro lado, as respostas à questão DOM2, que apresentaram o valor médio mais baixo, sugerem que o GRAAL não tem o efeito de colocar o(a) operador(a) num estado de sentimento de influência.

6.4 PERGUNTAS FINAIS

Depois de responder às questões TAM 3 e GAMEX, os respondentes foram solicitados a responder outras 2 questões afirmativas (usando uma escala Likert de 7 pontos), conforme visto na Tabela 13, e mais 5 questões abertas.

Tabela 13 – Questões Finais (n=33)

Questão	$\mu \pm \sigma$
Questão 1 O GRAAL será útil	5.97±0.89
Questão 2 O GRAAL poderá ser usado em outras/várias linhas manuais de montagem	5.85±1.10

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

As respostas às questões abertas foram agrupadas por similaridade e foram escolhidas as mais representativas delas, conforme segue.

Pergunta 3: Na sua opinião, qual funcionalidade deveria estar presente no GRAAL que você sentiu falta?

Dos 24 que responderam, foram selecionadas as sugestões de 3 respondentes que fizeram considerações em relação aos objetos virtuais (2D e 3D) usados no GRAAL: o primeiro sugeriu a "possibilidade do usuário manipular os componentes virtuais que devem ser montados, assim eles podem comparar com os componentes físicos e verificar eventuais defeitos."; o segundo sugeriu que "o componente tridimensional apresentado poderia ser usado para apresentar a posição correta de acoplamento do componente ao invés de ficar girando."; o terceiro sugeriu "controlar o nível de transparência no objeto 3D."

Com relação aos erros cometidos durante a montagem, foram selecionadas 7 sugestões dos respondentes: o primeiro sugeriu "informações visuais utilizando cores, como um semáforo para indicar mais claramente erros e acertos."; o segundo sugeriu uma "Mensagem de erro específico no caso de erro na montagem."; o terceiro sugeriu a "exibição do formato de encaixe da peça no objeto alvo e dos erros cometidos durante o processo."; o quarto sugeriu "um *feedback* em tempo real caso a pessoa coloque algo errado. Acredito que tão importante quanto indicar o que e onde colocar o componente, é indicar o que exatamente foi feito de errado e qual seria o correto."; o quinto sugeriu a "exibição do formato de encaixe da peça no objeto alvo e dos erros cometidos durante o processo."; o sexto sugeriu "A indicação de que parte da montagem apresentou problema, ao invés do usuário precisar inspecionar todos os passos manualmente até encontrar o problema."; o sétimo sugeriu uma "Mensagem de erro específico no caso de erro na montagem."

Com relação à interface do sistema e elementos de gamificação, as sugestões de 7 respondentes foram agrupadas: o primeiro sugeriu "um *ranking* entre os participantes"; o segundo sugeriu uma "funcionalidade para indicar a posição correta da placa em relação à câmera e a fonte de luz, visto que fatores do ambiente podem inviabilizar a visualização do componente eletrônico. Algum som poderia ser adicionado."; o terceiro sugeriu "Que estejam mais claros os locais de montagem."; o quarto sugeriu "Flexibilizar a ordem de montagem dos componentes. Escolha mais atrativa de gamificação. Atenção a detalhes de interface e experiência de usuário."; o quinto sugeriu "Acho que seria interessante que o sistema fosse utilizado com um HMD ao invés de câmera + tela. O usuário olhar para a placa e desviar o olho para a tela pode fazê-lo perder o foco do que está fazendo ou mesmo ter dificuldade de entender onde colocar um determinado componente."; o sexto sugeriu "Recompensa em dinheiro ou brindes pela produtividade, pois é um trabalho".

Questão 4: Na sua opinião, qual funcionalidade é irrelevante e deveria ser retirada do GRAAL?

Nesta questão, houve 21 respostas. Pôde-se reunir as respostas em dois grupos. No primeiro grupo foram selecionadas as respostas de 6 respondentes. O primeiro respondente sugeriu que "Não tem nada irrelevante."; o segundo sugeriu "Não tenho nenhuma sugestão de funcionalidade a remover. Achei todas bem interessantes."; o terceiro sugeriu "Não vejo algo deste gênero hoje."; o quarto sugeriu "Acho que não, os elementos estão dentro do contexto."; o quinto sugeriu "Achei as funcionalidades úteis para o que GRAAL se propõe."; o sexto sugeriu "Não identifiquei funcionalidade irrelevante".

No segundo grupo, foram selecionadas as respostas de 6 respondentes. o primeiro respondente sugeriu "O sistema de medalhas poderia ser mudado para algo mais criativo, como por combustível ligado à viagem apresentada no mapa."; o segundo respondente sugeriu "A parte de visita virtual, pois acho difícil ter engajamento. Se for dentro do trabalho, vai tirar produtividade e se for fora, é quase como continuar trabalhando em casa, uma vez que não me chama a atenção."; o terceiro sugeriu "Difícil avaliar sem ter uma experiência de uso do produto, mas não me senti confortável com a inclusão de itens de gamificação para a linha de montagem."; o quarto sugeriu "Entendo a proposta por trás do tour virtual, mas me parece de pouco valor. Ao menos para mim isso não seria estimulante. Outros tipos de incentivos podem ser mais efetivos em minha opinião, como badges colecionáveis por atingir objetivos específicos, ou algo que estimule a competição saudável entre usuários."; o quinto sugeriu "A escolha dos emojis não faz sentido, pelo menos pela explicação dada no vídeo. O que significa um emoji de questionamento, e porque isso tem relação com uma taxa de acerto ruim (na definição dos autores)? Não foi possível entender porque os autores escolheram gamificar o sistema. Foi para aumentar a produtividade? Há disputas sobre o uso de uma "classificação geral" na gamificação. Uma pessoa que está nos últimos lugares, por exemplo, independente de não conhecer quem está acima dela, poderá se desmotivar mais ainda por estar longe do topo. Além disso, não é transparente para a pessoa nem como é calculado essa sua posição. Ela, por não entender como é

calculada essa classificação, não conseguirá nem entender a quantidade de esforço necessária para sair das últimas posições e aparecer nas primeiras, e isso pode desmotivar. No geral, eu acredito que a forma que a gamificação foi realizada ela tem pouca utilidade e pouco engajará os usuários. São utilizadas medalhas esteticamente desagradáveis, com pouca qualidade de cores, brilho e animação. A escolha do PNG das medalhas de "regularidade" e "acertos" parece um ícone antigo, com escolhas de design já ultrapassadas se comparado às indicações de experiência de usuário atuais. Se for apenas um protótipo, está tudo bem. Para um sistema que irá ser utilizado em cenário real, é urgente que se tenha escolhas de design mais acertadas quando se trata de aspectos visuais e de interação da solução. Só acrescentar medalhas não é suficiente para gamificar. As medalhas devem significar algo, por exemplo alinhando medalhas com nomes, cores e/ou tipo associado a uma narrativa, por exemplo. O ícone das medalhas também deve ser esteticamente bonito e agradável. Os emojis devem ter uma explicação sobre o que significam, e devem estar em um tamanho e resolução adequados. No vídeo, os emojis aparecem pixelados, de má qualidade visual."; o sexto sugeriu "Sinceramente não sei se a gamificação agrega algo para um montador mais experiente."

Questão 5: Na sua opinião, quais os principais benefícios ou vantagens da se utilizar o GRAAL na linha de montagem manual?

Das 27, pôde-se dividir as respostas em dois grupos. O primeiro, considerando a produção e o segundo, considerando o uso do GRAAL em treinamento. No primeiro grupo, 12 respostas foram selecionadas. O primeiro respondente sugeriu "Facilitar a tomada de decisão em tempo de montagem."; o segundo sugeriu "Para o gestor, é uma excelente forma de coletar indicadores de performance dos montadores."; o terceiro sugeriu "Feedback mais evidente."; o quarto sugeriu "A sequência e a posição correta dos componentes eletrônicos são fundamentais para o bom funcionamento do equipamento e para evitar acidentes nas linhas de montagem."; o quinto sugeriu "Praticidade e otimização dos processos e tempo."; o sexto sugeriu "Conferência de erros de forma automática."; o sétimo sugeriu "Melhoria da produtividade e engajamento dos colaboradores"; o oitavo sugeriu "Redução de erro, aumento de produtividade."; o nono sugeriu "A rotatividade de pessoas."; o décimo sugeriu "Comparar seu desempenho com os demais operadores."; o décimo-primeiro sugeriu "Aparentemente, diminuir o erro e aumentar a produtividade."; o décimo-segundo sugeriu "As informações apresentadas sobre os componentes".

Com relação ao segundo grupo, 12 respostas foram selecionadas. O primeiro respondente sugeriu "Possibilita o treinamento no local de trabalho e realiza inspeção da montagem."; o segundo sugeriu "Orientação do serviço para novos funcionários."; o terceiro sugeriu "Auxiliar no treinamento, mostrando o que está certo, errado e o que precisa ser feito (instalado)."; o quarto sugeriu "Creio que será muito interessante para treinamento de trabalhadores em linhas de montagem, reduzindo custos e aumentando a eficiência dos processos."; o quinto sugeriu "Acredito que a ferramenta pode ser muito útil para treinar a montagem de novos produtos em função da realidade aumentada."; o sexto sugeriu "Como ferramenta de aprendizagem é adequado"; o sétimo sugeriu "Maior engajamento dos funcionários em atividades de treinamento,

busca por qualidade."; o oitavo sugeriu "O principal benefício é o guia de montagem (para pessoas com pouca experiência) e a verificação da corretude da montagem ao final."; o nono sugeriu "A principal vantagem que vejo atualmente está em seu uso para treinamento. Para quem ainda não sabe exatamente como proceder, isso parece bem útil. Uma vez que se sabe e tem apenas que repetir o mesmo processo algumas vezes, o sistema perde força. Poder indicar qual peça encaixa exatamente onde na placa é uma grande vantagem também, assim como identificar quando um erro foi feito."; o décimo sugeriu "Auxilia e muito no despertar do aprendizado do usuário por ser um formato criativo em relação a como a pessoa pode aprender sobre a linha de montagem. Torna mais prazeroso o processo."; o décimo-primeiro sugeriu "O apontamento visual em tela pode facilitar montadores iniciantes."; o décimo-segundo sugeriu "Me parece que a utilidade maior do sistema está na realidade aumentada, isto é, em apresentar os componentes em uma visualização 3D, o nome dos componentes e onde devem ser conectados. Entretanto, o sistema me parece útil apenas para funcionários iniciantes, ou caso a linha de montagem tenha muita diversidade de tipo de placa e componente. No geral, espera-se que o funcionário entenda como fazer após um tempo e depois disso não necessite mais de um aparato tecnológico para guiar e forçar seu trabalho. Veja que a montagem da placa no sistema de realidade aumentada indica uma ordem para instalar os componentes, que no mundo real poderia ser flexibilizada de acordo com o desejo do funcionário ou dos recursos (in)disponíveis. Deste modo, não vejo utilidade do sistema para usuários experientes, apenas para iniciantes. Entretanto, o sistema auxiliar iniciantes e/ou estudantes já é grande coisa e algo estimável".

Questão 6: Na sua opinião, quais as principais dificuldades ou desvantagens de se utilizar do GRAAL na linha de montagem manual?

Pôde-se dividir as 23 respostas obtidas em 2 grupos: o primeiro grupo de respondentes opinou sobre o uso do GRAAL por operadoras mais experientes. O segundo grupo considerou dificuldades de *setup* e autoria.

No primeiro grupo, com 8 respondentes selecionados, o primeiro respondente sugeriu "Dificuldade em manter o usuário utilizando o sistema constantemente. Devido a rotina de algumas montagens manuais, após alguns ciclos o usuário memoriza a atividade e pode considerar o GRAAL como uma 'perda de tempo' para a execução."; o segundo sugeriu "A pressão pela produtividade."; o terceiro sugeriu "Para o montador é potencialmente estressante. Ter a sensação de que está sendo monitorado incansavelmente por um sistema que te cobrará até a exaustão, como se exigiria de uma máquina."; o quarto sugeriu "Menos praticidade na montagem."; o quinto sugeriu "Quanto a gamificação, considerando apenas o vídeo apresentado e pensando na experiência que já tive em montar algum circuito, acho que a gamificação seja mais útil para motivar a realização de treinamentos, ensino de montagem de circuitos elétricos ou até mesmo para conhecer um circuito novo. Mas para um ambiente de linha de montagem isso pode ser até estressante. No dia a dia, quando a produção for menor o indivíduo não se sentirá bem e acabará desgostando da aplicação."; o sexto sugeriu "Acho que a questão da gamificação não seja uma vantagem"; o sétimo sugeriu "Como dito anteriormente, a principal desvantagem que vejo é a

perda de valor (no protótipo atual) quando o usuário aprende a tarefa dada e tem apenas que repetir os mesmos passos repetidamente."; o oitavo sugeriu "A resistência ao uso dos operadores, principalmente os com mais experiência".

No segundo grupo, com 4 respondentes selecionados, o primeiro respondente sugeriu "Fatores do ambiente, tais como iluminação e oclusão, podem influenciar no desempenho do sistema."; o segundo sugeriu "As principais dificuldades estarão relacionadas ao treinamento e engajamento dos funcionários no seu uso. Além disso, não consegui compreender como será a inserção de conteúdos e modelos na ferramenta. Dependendo de como for feito, isso poderá gerar alguma dificuldade."; o terceiro sugeriu "Fazer o *setup* do sistema, posicionando a câmera de forma que a mesma consiga capturar todo o ambiente de trabalho."; o quarto sugeriu "Engessar o trabalho para usuários experientes, trazendo uma ordem específica de montagem que tem que ser seguida, que é algo programado em software, fixo e portanto desalinhado às necessidades e experiências reais de uma linha de montagem. Por diversos motivos, a ordem de instalação de um componente pode ser revista, e o sistema não é flexível nesse sentido."

Pergunta 7: Você tem alguma sugestão para melhorar o GRAAL?

Foram obtidas 19 respostas. As respostas foram agrupadas em dois grupos. O primeiro deles com comentários sobre melhorias da interface do usuário e o segundo grupo sobre outras melhorias.

No primeiro grupo, 4 respondentes foram selecionados. O primeiro deles sugeriu "Buscar apoio para desenho da interface (UX), pois está "datada" e desatualizada em relação aos padrões de interface utilizados atualmente (ex. web 3.0)"; o segundo sugeriu "Melhorar ilustração das fontes de texto."; o terceiro sugeriu "A interface como um todo é engessada, utilizando apenas caixas, textos com fonte quadradas, onde todos os textos estão em negrito. Sugiro envolver uma pessoa do Design para auxiliar a criar uma interface mais agradável, que potencialize as escolhas de gamificação para que ela se torne mais engajadora, motivadora e agradável na interação. Senão, corre-se o risco da gamificação ser totalmente abandonada ou desconsiderada por usuários, que focarão no sistema apenas no seu valor de realidade aumentada."; o quarto sugeriu "Pelo vídeo não dá para entender se há um registro entre a câmera e a placa. O que acontece se eu mover a placa? As indicações seguem a placa, isto é, há o reconhecimento daquele hardware e eu posso fazer rotações e translações do objeto real em relação à câmera? Pergunto isso pois, caso isso não seja verdade, a sobreposição de elementos virtuais sobre a cena sem registro não seria exatamente um sistema puro de RA".

No segundo grupo, com 5 respostas selecionadas, o primeiro respondente sugeriu "A interface de *login* poderia incluir algumas informações gerais do GRAAL."; o segundo sugeriu "Identificar uma etapa concluída poderia ser útil para permitir o operador manter o foco no processo 100 % do tempo."; o terceiro sugeriu "Acrescentar a indicação do problema encontrado."; o quarto sugeriu "Pensar em alguma estratégia, por exemplo, fornecer algum material de reforço, em caso de sucessivos erros."; o quinto sugeriu "Utilizar visão computacional com aprendizado de máquina".

Um dos respondentes gerou uma resposta mais ampla, envolvendo os dois grupos: "Uma coisa que achei estranho no vídeo foi a imagem estar numa orientação contrária à que eu esperaria ao utilizar o sistema. Me parece que a imagem está de cabeça para baixo, o que pode tornar difícil ao usuário o relacionamento do objeto e posição de encaixe na placa. Todo o visual pode ser melhorado com a ajuda de um designer/UI/UX, mas entendo que se trata de um primeiro protótipo. Como dito antes, acho que vale a pena uma investigação de outras formas de incentivo ao usuário. Isso por si só pode ser uma pesquisa bem relevante. Uma análise em tempo real do que está acontecendo, com feedback também em tempo real agregaria muito valor! Por fim, creio que seria bom ter também uma forma de indicar a orientação do componente a ser inserido no circuito, de modo a impedir que CIs fossem inseridos de forma errada".

6.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Para se realizar a avaliação do GRAAL, apresentou-se inicialmente o protótipo do sistema, com uma descrição de seu funcionamento e sua interface com a operadora. Foi descrita a estratégia escalonada da gamificação de modo a se evitar o desvio de foco na tarefa de montagem.

Com o sistema funcional, procedeu-se a uma gravação e edição de vídeo, mostrando-se seu uso em uma estação de trabalho simulada em laboratório.

Com o vídeo concluído e os questionários de demografia, perguntas finais, TAM 3 e GAMEX (traduzido para o português) definidos, foram enviados e-mails a especialistas, convidando-os a responder o questionário online.

Com as respostas obtidas pôde-se construir as tabelas com as médias e desvios-padrão das respostas. As respostas às perguntas finais foram agrupadas por similaridade e aquelas mais abrangentes foram apresentadas.

No capítulo seguinte será feita a interpretação dos dados aqui apresentados.

7 DISCUSSÃO

Neste capítulo é feita uma discussão sobre cada etapa do trabalho de pesquisa, desde a conceituação do problema até a avaliação dos especialistas.

7.1 SOBRE A REVISÃO DE LITERATURA E DIRETRIZES ELABORADAS

A proposta inicial foi a de se desenvolver um modelo conceitual de um sistema de gamificação para utilização em uma linha de montagem manual auxiliada por RA. Para tanto, buscou-se inicialmente conhecer de que forma os sistemas de RA para a indústria eram projetados. Um mapeamento sistemático da literatura permitiu que fossem levantadas diretrizes de projeto de sistemas de RA voltadas para essa área. Uma busca piloto exploratória mostrou que existiam mapeamentos recentes na área de RA na indústria, denotando haver interesse da sua utilização nesse ambiente. Como existiam esses mapeamentos recentes, usou-se a estratégia de se estudar esses mapeamentos e verificar o que eles indicavam como diretrizes de projeto. Dos 14 artigos encontrados foi possível o levantamento de 4 agrupamentos de diretrizes de projeto nas áreas de usabilidade, cognitiva, ergonômica e organizacional (Sessão 3.3).

A frase de busca utilizada (Sessão 3.1) não excluiu a possibilidade de se obter revisões de literatura que envolvessem, além da RA, a Gamificação. No entanto, constatou-se não haver nos artigos, menção às duas tecnologias sendo utilizadas simultaneamente, mostrando que o tema, nesse formato, tem sido pouco explorado. A única exceção, que não era uma revisão, foi o trabalho de (Funk *et al.*, 2016), usando RA com projeção e Gamificação da montagem manual de peças mecânicas. Mesmo considerando esse artigo, não foi encontrado qualquer trabalho que modelasse um sistema de software envolvendo as duas tecnologias simultaneamente.

À medida em que o modelo do GRAAL era construído, ele era confrontado com as diretrizes de projeto encontradas, o que assegurou sua aderência à realidade industrial em que seria aplicado, distanciando-se dessa condição apenas aquelas diretrizes que envolviam diretamente o *hardware* utilizado (diretrizes ergonômicas, Subseção 3.3.3), o que se considerou não invalidar a generalidade do modelo proposto, uma vez que, como modelo conceitual, ele deveria abstrair o nível da tecnologia de hardware utilizada no momento.

7.2 SOBRE O MODELO CONCEITUAL DO GRAAL

Como o GRAAL avalia inicialmente as condicionantes da gamificação (Figura 12), existe generalidade suficiente no modelo para que este possa ser utilizado em outras áreas da indústria, particularizando as condicionantes e a filtragem inicial para cada uso específico. Como exemplo, ao se aplicar o GRAAL para a área de logística, o ambiente e contexto da aplicação mudam, assim como as características do operador, mudando a *persona* criada. Dessa forma, seria possível se determinar, a partir de uma lista abrangente de elementos de gamificação, aqueles que deveriam ser excluídos na pré-filtragem, em função das 3 condicionantes do modelo. Um *framework*

de análise dos tipos de jogador para essa situação seria definido, bem como a interface que, neste exemplo, dada a necessidade de mobilidade do operador, poderia ser um óculos de RA. A interação do operador com o sistema poderia ser por *scanner* de código de barras, RF ID (identificação de produto por rádio frequência), tátil ou por voz, no próprio dispositivo de óculos. Dados seriam enviados, recebidos e armazenados via Wi-Fi. Com este exemplo, percebe-se a generalidade do modelo e sua abstração da Interface, aumentando a amplitude de possibilidades de sua utilização.

Para a escolha dos elementos iniciais de gamificação para compor a gamificação de *setup*, criou-se um fluxo de análise que foi incorporado ao modelo do GRAAL, como mostrado na Figura 16. Observa-se que a filtragem prévia, classificação da importância e escolha dos principais elementos de gamificação (em azul, na Figura 16) é um processo que pode ser aplicado a qualquer tipo de gamificação, em qualquer cenário, denotando a generalidade do modelo, que considera as particularidades da gamificação nos blocos de Condicionantes e Tipologia do Jogador (em laranja, na Figura 16). Assim, partindo-se de uma lista genérica de elementos de gamificação, obtém-se os elementos de gamificação necessários para a implementação gráfica da Interface (em verde na Figura 16).

Uma preocupação existente desde o início da proposta do modelo é a de que a aplicação da gamificação pudesse ocorrer sem qualquer prejuízo da execução da tarefa de montagem, ou seja, que ela pudesse ser desligada sem afetar o comportamento do sistema de RA. Dessa forma, caso a operadora não quisesse visualizar a gamificação, ela teria a opção de desligá-la a qualquer momento. A princípio, pode-se considerar que essa decisão atue em confronto à proposta de gamificação, mas julgou-se ser essa uma decisão a ser atribuída à própria operadora, que poderá se sentir confortável, tendo a autonomia de, em alguns momentos, não visualizar a gamificação e o seu próprio desempenho. No entanto, dado que o modelo de gamificação segue a proposta de uma gamificação epífita, esta continua a funcionar em segundo plano, uma vez que os dados de produção e desempenho devem ser continuamente computados e armazenados. Assim, no momento em que a gamificação é novamente habilitada, resultados cumulativos atualizados são apresentados, sem prejuízo do cálculo de medalhas, do *ranking* e do nível em que a operadora se encontra dentro da narrativa da gamificação. A Figura 30 mostra o banco de dados sendo continuamente alimentado pelo processo de montagem, estando a gamificação habilitada ou não.

Figura 30 – Dados de desempenho sendo continuamente gravados no banco de dados

id	cartao	op	linha	posto	data_tarefa	etapa	tempo_tarefa	correta	tempo_retrabalho	usuario_id
2307	P500B41	F3207DA	32	4	15/09/2022 10:03:59	Placa AVAL -Etapa 01	13,80198	1	0	97
2308	P500B41	F3207DA	32	4	15/09/2022 10:04:11	Placa AVAL -Etapa 01	9,279776	1	0	97
2309	P500B41	F3207DA	32	4	15/09/2022 10:04:23	Placa AVAL -Etapa 01	9,32955	1	0	97
2310	P500B41	F3207DA	32	4	15/09/2022 10:04:58	Placa AVAL -Etapa 01	9,012055	1	0	97
2311	P500B41	F3207DA	32	4	15/09/2022 10:05:07	Placa AVAL -Etapa 01	7,381863	1	0	97
2312	P500B41	F3207DA	32	4	15/09/2022 10:05:22	Placa AVAL -Etapa 01	11,4636	0	0,267117	97
2313	P500B41	F3207DA	32	4	15/09/2022 10:05:42	Placa AVAL -Etapa 01	11,37192	1	0	97
2314	P500B41	F3207DA	32	4	15/09/2022 10:05:56	Placa AVAL -Etapa 01	10,50313	1	0	97
2315	P500B41	F3207DA	32	4	15/09/2022 10:06:10	Placa AVAL -Etapa 01	9,758544	0	0,6808531	97
2316	P500B41	F3207DA	32	4	15/09/2022 10:06:26	Placa AVAL -Etapa 01	11,6511	0	0,5550081	97
2317	P500B41	F3207DA	32	4	15/09/2022 10:06:39	Placa AVAL -Etapa 01	9,816193	1	0	97
2318	P500B41	F3207DA	32	4	15/09/2022 10:06:54	Placa AVAL -Etapa 01	11,9112	0	1,25598	97
2319	P500B41	F3207DA	32	4	15/09/2022 10:07:11	Placa AVAL -Etapa 01	10,90174	1	0	97
2320	P500B41	F3207DA	32	4	15/09/2022 10:07:24	Placa AVAL -Etapa 01	10,19633	1	0	97
2321	P500B41	F3207DA	32	4	15/09/2022 10:07:38	Placa AVAL -Etapa 01	10,5087	0	0,3136003	97
2322	P500B41	F3207DA	32	4	15/09/2022 10:07:58	Placa AVAL -Etapa 01	10,18373	1	0	97
2323	P500B41	F3207DA	32	4	15/09/2022 10:08:10	Placa AVAL -Etapa 01	9,663522	1	0	97

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

7.3 SOBRE A IMPLEMENTAÇÃO DA PROVA DE CONCEITO

Inserir elementos de gamificação em uma linha de montagem requer o cuidado de não se desviar a atenção do operador mais para a gamificação do que para tarefa sendo executada. Essa percepção, corroborada pelas 4 Diretrizes "DU" de usabilidade (Tabela 3), implicou na criação de uma gamificação com poucos elementos na tela e, além disso, elementos de fácil e rápida compreensão, o que se conseguiu com o uso de emojis. Houve um cuidado na definição desses emojis porque não se pretendia criar um tipo de motivação extrínica negativa. Dessa forma, ao invés de se usar um emoji aborrecido ou irritado, optou-se por se usar um emoji pensativo para as situações de menor desempenho da operadora. Considerou-se essa abordagem suficiente para alertar a operadora de seu desempenho, sem no entanto aumentar sua carga cognitiva durante a execução da tarefa.

Outra solução criada para que o nível de informação na tela ficasse o mínimo possível durante as tarefas de montagem, foi a decisão de se mostrar o desempenho da operadora não a todo momento, mas após um certo número de placas montadas. Esse número, sendo uma variável externa do sistema, pode ser estrategicamente definido pela supervisão da linha de montagem, a qualquer momento. Pelo mesmo motivo, a narrativa da gamificação, envolvendo o *tour* pelas cidades do Brasil, só é apresentada ao final do turno da operadora, onde é possível se deter por alguns momentos na tela, sem prejuízo de seu desempenho.

O modelo de gamificação foi implementado em uma arquitetura cliente-servidor, sendo o GRAAL o cliente do sistema e o servidor sendo implantado com um banco de dados e uma API (*Application Programming Interface*) como elemento de conexão, com a possibilidade do servidor ser implementado no mesmo equipamento ou não. Foi criado um sistema de *login* por operadora, ficando assim, o sistema com duas camadas de segurança: o acesso com *login* e senha pela operadora e o acesso automático da aplicação com *login* e senha ao banco de dados, via API. Dessa forma, os dados de desempenho e de gamificação estão seguros de acessos indevidos,

ficando seus dados disponíveis apenas para ela, através da tradução de seu desempenho em alguns dos elementos de gamificação, e dados brutos disponíveis para sua supervisão. Essa estratégia atende a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD) (Brasil, 2018).

7.4 SOBRE O PÚBLICO DA AVALIAÇÃO

Com o protótipo da prova de conceito implementado, iniciou-se sua avaliação quanto à aceitação da tecnologia (usando o questionário TAM 3) e aos recursos de Gamificação (usando o questionário GAMEX).

Os entrevistados que contribuíram para a avaliação do GRAAL podem ser chamados de especialistas porque demonstraram um perfil muito específico e intimamente relacionado com o tema. Os entrevistados foram majoritariamente do sexo masculino, acadêmicos, doutores e mestres, da área de Ciências Exatas, na faixa etária de 32 a 50 anos, com grande conhecimento de aplicações de RA, e com conhecimento sobre montagem manual (Seção 6.1.1).

Desejava-se uma avaliação abrangente que extrapolasse o uso do GRAAL apenas em uma empresa específica e que pudesse considerar profissionais e acadêmicos envolvidos com RA e gamificação em âmbito nacional. Por esse motivo, foi feita uma busca desse público em eventos acadêmico-profissionais da área.

O projeto apresentado ao Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEPSH) contemplava também a utilização de questionário para a avaliação da carga cognitiva das operadoras na linha de montagem manual da empresa parceira após o uso do protótipo, usando-se uma versão validada em português do questionário NASA-TLX (Diniz, 2018). No entanto, os questionários não puderam ser aplicados às operadoras porque a empresa passou por uma revisão das prioridades estratégicas, optando em não avançar com a parceria naquele momento. As operadoras foram representadas por questionários respondidos pelas operadoras líderes e pela supervisão da linha de montagem da empresa parceira (11,7% do total de pessoas que responderam aos questionários TAM 3 e GAMEX).

7.5 SOBRE OS RESULTADOS DO TAM 3

Na avaliação do TAM 3, os entrevistados concordaram que o GRAAL é útil para o trabalho (Tabela 11, construto UP) e pode melhorar o desempenho dos operadores, sendo fácil de usar (construto FUP), mas deve melhorar sua flexibilidade para permitir mais liberdade enquanto o operador utiliza o sistema (esta avaliação foi relatada nas questões discursivas). A solução para esta percepção pode ser um compromisso entre cumprir a sequência de montagem exigida pela empresa e os operadores descobrirem uma sequência melhor para a montagem dos componentes.

Não foram encontrados problemas relacionados à eficácia do sistema (AEC) e foi percebido pelos respondentes que os operadores podem usar o GRAAL sem uma experiência de uso anterior com um sistema semelhante (Tabela 11, construto AEC). Os respondentes consideraram o sistema relevante para o operador (REL2), mas não o mais importante recurso que um opera-

dor pode ter na montagem de uma PCI (REL1) (Tabela 11, construto REL). Os respondentes consideraram também que a qualidade de saída do sistema pode melhorar (QR1). Quando essas informações são confrontadas com as respostas às questões abertas, é possível se concluir que as sugestões para se construir uma interface que tenha sua UX (experiência do usuário) melhorada não estão relacionadas à eficácia do sistema, embora uma melhor UX possa melhorar a aceitação do operador à parte da gamificação do sistema.

7.6 SOBRE OS RESULTADOS DO GAMEX

Foi muito gratificante constatar que os entrevistados emitiram a maior pontuação de concordância para o construto Prazer do questionário GAMEX (Tabela 12, construto PRAZ), uma vez que um dos principais objetivos da gamificação é tornar uma atividade mais prazerosa.

Analisando as respostas, percebeu-se que algumas delas deveriam ser reconsideradas para o contexto da linha de montagem manual e outros ambientes industriais semelhantes. O construto Absorção (Tabela 12) tem 6 questões relacionadas à medição da sensação de estar ou não, fisicamente presente no local de trabalho durante a utilização do sistema gamificado. A sensação de não presença pode ser uma característica indesejada para uma gamificação industrial porque atenção, foco e presença são necessários para o trabalho do operador, mas não ao ponto de se sentir ausente do seu lugar. Os operadores lidam com ferramentas e componentes perigosos (podem queimar ou furar) e, portanto, devem estar atentos ao que os rodeia. Assim, ter todas as 6 questões de Absorção com valor médio abaixo do valor central da escala Likert é um resultado desejado para ambientes industriais.

As questões EST2 e EST3 do construto Estimulação e as questões ASN1 e ASN2 do construto Ausência de Sensação Negativa foram afirmações negativas (Tabela 12), portanto os cálculos dos resultados médios devem ser analisados adequadamente. Os entrevistados concluíram que o operador pode estar estimulado, mas não ao mesmo tempo, nervoso ou frenético, o que é uma condição desejada, uma vez que a gamificação deve ser suficiente para promover o envolvimento e o desempenho, mas não para induzir tais estados de nervosismo e agitação. Estes resultados foram corroborados pelas respostas dos entrevistados indicando ausência de efeitos negativos, como aborrecimento ou hostilidade. Assim, era esperado e desejado ter-se valores médios mais baixos para estas questões.

Os resultados do GAMEX também mostraram que os entrevistados concordaram que os operadores podem se sentir confiantes ao realizar suas tarefas enquanto usam o GRAAL, mas não ao ponto de se sentirem influentes. Dominar o seu trabalho graças à gamificação é uma característica desejável mas, como a montagem é uma atividade manual feita isoladamente neste caso específico, não há espaço para os operadores se sentirem influentes.

7.7 SOBRE AS QUESTÕES FINAIS

Em relação às questões finais (Sessão 6.4), as respostas à Questão 1 significam que os entrevistados concordaram que o GRAAL pode ser útil para os operadores. As respostas à Questão 2 mostram que os entrevistados concordaram que pode ser possível usar o GRAAL em outros tipos de linhas de montagem manuais.

Em relação às respostas da Questão 3, a sugestão de manipulação dos objetos virtuais durante a montagem poderia desviar o foco da operadora da montagem para o objeto e prejudicar seu desempenho, uma vez que ela teria que usar as mãos para manipular o objeto virtual e isso exigiria outra tecnologia mais custosa que a atualmente adotada; com relação a fixar o componente virtual e apresentar algum ponto chave para facilitar a montagem, é uma possibilidade, provavelmente ao final de um determinado período de movimento do componente virtual; com relação à sugestão do controle de transparência do objeto virtual, é possível sua implementação mas não se vislumbra sua utilidade, uma vez que o objeto virtual se movimenta na lateral da placa e não obstrui sua visão completa.

Com relação à sugestão de informar os erros cometidos durante a montagem com a analogia do semáforo, esta chegou a ser considerada mas julgou-se que poderia criar uma motivação extrínseca negativa; todas as outras 6 sugestões estão relacionadas a uma granularidade de visão computacional e do reconhecimento de padrões que não está no escopo desta proposta e que exigiria mais pesquisas.

Com relação à interface do sistema e elementos de gamificação, a sugestão de um *ranking* já está contemplada no projeto; a sugestão de um recurso para auxiliar a posição da PCI já é implementada por meio de um retângulo virtual apresentado no monitor para guiar o operador no posicionamento da PCI antes de iniciar a montagem; a sugestão de utilização de som na interface chegou a ser cogitada durante o projeto mas foi descartada por se considerar que sua utilização poderia desviar a atenção das colegas e gerar uma poluição sonora num ambiente com muitas operadoras; a sugestão de se deixar os locais de montagem mais claros é possível com um estudo de uso das cores; a sugestão de flexibilizar a ordem de montagem é possível, porém demandaria que essa configuração estivesse sob controle da operadora, o que inviabilizaria os estudos de tempos e métodos que normalmente empresas dessa área utilizam na previsão de fadiga da operadora por erros de ergonomia e também inviabilizaria a otimização dos tempos de montagem; a sugestão de se usar um HMD (pressupõe-se aqui, com algum recurso de RA) poderia causar fadiga na operadora devido ao peso e proximidade visual do *display* por tempo prolongado. No entanto, um dispositivo de óculos leve, com RA projetada na lente, pode ser considerado; a sugestão de promover recompensa em dinheiro é possível, mas é tema que envolve a área de recursos humanos de cada empresa.

Em relação às respostas à Questão 4, todos os argumentos foram sobre a tomada de decisões sobre a gamificação, o que foi feito através de uma sólida revisão da literatura; reconheceu-se a sugestão de melhorar a interface gráfica, com um tratamento visual realizado por um

pesquisador/profissional da área mas, trata-se de um protótipo e demandaria mais pesquisa na área de IHC (interface Humano-Computador) e a atuação de colaboradores adicionais.

Em relação às respostas à Questão 5, o primeiro grupo de respondentes que considerou aspectos de produção, considerou a coleta de KPIs, melhoria de desempenho, aumento da qualidade, otimização de processos e tempo, redução de erros e melhor conhecimento dos componentes. No segundo grupo, todas as respostas relacionam a gamificação com os aspectos de aprendizagem da operadora de uma forma mais prazerosa, o que é certamente uma vantagem do design da gamificação, mas o treinamento está fora do contexto desta pesquisa.

Em relação às respostas do primeiro grupo de respondentes à Questão 6, para a afirmação de que com a rotina e a memorização da montagem haverá o desinteresse, a proposta da gamificação vai de encontro a essas questões quando torna a tarefa lúdica. Com relação às opiniões de que haverá cobrança constante e estressante com a gamificação, lembra-se que esta proposta dá à operadora a opção de desligar a gamificação a qualquer momento. Com relação à afirmação de que haverá a não utilização do GRAAL após a operadora dominar o processo de montagem, considera-se ser essa uma possibilidade real. Com relação à afirmação de que configurar o sistema poderia ser problemático, o sistema não apresentou problemas quando testado com diferentes PCIs e diferentes condições ambientais.

Em relação às respostas do primeiro Grupo à Questão 7, serão adotadas as sugestões de melhoria da interface, dada a importância a ela atribuída pelos respondentes, para a aderência à gamificação; com relação à preocupação de um dos respondentes com o registro e *tracking*, estes ocorrem normalmente, permitindo rotação e deslocamento da PCI em relação ao plano da mesa, assim como movimentos perpendiculares da PCI em relação a esse plano.

No segundo grupo de respondentes à Questão 7, considera-se possível a sugestão de inserção de informações gerais no *login*. Com relação à sugestão de se identificar uma etapa concluída, isto já acontece ao final de uma sequência completa de montagem. Com relação à sugestão de indicar o problema encontrado, será necessária uma nova pesquisa que permita o reconhecimento de padrões nesse nível de detalhe sugerido. Com relação à sugestão de se fornecer material de reforço em caso de sucessivos erros, é interessante mas demandaria um estudo para se definir em que momento esse material seria acessado pela operadora. A sugestão de se usar visão computacional com aprendizado de máquina seria uma evolução natural deste projeto mas demandaria uma nova pesquisa. Com relação ao fato de um dos respondentes observar que a PCI estava com orientação invertida, este foi um recurso encontrado para deixar as imagens didaticamente mais compreensíveis para quem assistia ao vídeo; para se voltar à situação inicial, basta girar a câmera em 180 graus e fazer o mesmo com a PCI. Com relação à sugestão de indicar a orientação de circuitos integrados (CIs) a serem inseridos na PCI, tal fato já ocorre, uma vez que quando o CI virtual gira em vários ângulos de rotação, sempre é possível ver o indicador do seu pino 1.

8 CONCLUSÃO

As atividades que acontecem em uma linha de montagem manual são repetitivas, monótonas, indutoras a erros e é necessário prover a operadora com recursos para a motivação, desempenho e engajamento na tarefa. Baseando-se no mapeamento sistemático de estudos secundários sobre uso da RA na manufatura, foi proposto um conjunto de diretrizes que levaram a um modelo de gamificação em uma linha de montagem manual de componentes em PCIs auxiliada por RA denominado GRAAL. Essas diretrizes encontradas, agrupadas por categorias (usabilidade, cognitivas, ergonômicas e organizacionais), aumentam a probabilidade de sucesso de um projeto de RA industrial.

O modelo de gamificação proposto coloca o montador como parte central do processo, por meio de estratégias que também refletem seu desempenho na atividade: mensagens quanto a sua saúde são apresentadas, *feedback* contínuo mas poucas interrupções no trabalho, elementos de jogos escolhidos conforme seu perfil, são promovidos pelo sistema no qual o montador dispõe de várias opções de controle, inclusive desligar a gamificação. Não obstante, o modelo captura dados detalhados de tempo e erros do montador, para permitir melhor gestão da relação entre montador e tarefa.

Constatou-se que a inclusão do GRAAL no sistema de uma linha de montagem manual com RA não conflituou com a aderência prévia do sistema às diretrizes encontradas e sim, beneficiou-se delas.

O protótipo funcional resultante dessa implementação do GRAAL foi avaliado por profissionais da área. A avaliação foi feita usando-se dois questionários: TAM 3 e GAMEX.

O TAM 3 foi usado para se avaliar o grau de aceitação da tecnologia do GRAAL em uma linha de montagem manual com RA. Após análise dos construtos, aqueles considerados não adequados a uma avaliação dos respondentes e às condicionantes da gamificação, foram descartados (CPLAY, CANX, SN, IMG BI e USE) durante a fase de preparação dos questionários. Para os construtos avaliados, todas as pontuações ficaram acima do centro da escala para as questões afirmativas do TAM 3 e todas as questões negativas do TAM3 tiveram pontuações abaixo do centro da escala, o que denotou coerência dos respondentes.

Em seguida, no mesmo evento de avaliação, o GAMEX foi usado para se mensurar a experiência da gamificação do GRAAL. Todas as pontuações ficaram acima do centro da escala para as questões afirmativas em relação aos construtos de gamificação do GAMEX; para o construto Absorção do GAMEX (que avaliou o quanto a operadora estava absorva em relação à atividade e à gamificação), com questões afirmativas, os resultados ficaram todos abaixo do centro da escala. No entanto, após análise do contexto em que a gamificação estava inserida, concluiu-se que esses resultados eram uma condição desejada e necessária.

O modelo do GRAAL, além da pesquisa bibliográfica, baseou-se em informações de uma linha de montagem manual de placas de PCIs em um indústria real. No entanto, dado que o modelo considera as condicionantes da gamificação como as entradas do processo, com

a modificação dessas condicionantes é possível a aplicação do modelo para outras áreas da indústria, como considerado pelos respondentes durante a avaliação. Ainda, como o GRAAL foi desenvolvido com base em uma linha de montagem manual real, este modelo pode contribuir para o processo de projeto de sistemas industriais de gamificação baseados em RA, utilizados no chão de fábrica da indústria.

8.1 LIMITAÇÕES

O GRAAL foi avaliado como uma estação de trabalho isolada. Não foram avaliadas as implicações de seu uso com várias estações de trabalho sequenciais, com relação a ritmo e acertos na linha de montagem, bem como o efeito da gamificação num conjunto de operadoras que estejam trabalhando nessa linha gamificada.

Embora o modelo do GRAAL preveja a evolução de uma gamificação adaptativa de *setup* para uma gamificação adaptativa dinâmica, tal esquema não foi avaliado no sistema implementado.

O GRAAL não considerou em seu modelo a implementação de soluções para a correção de erros repetitivos das operadoras.

Não foi possível obter a avaliação com um número maior de operadoras além das líderes das linhas de montagem, pois a empresa que participava do projeto mudou suas estratégias e não houve a continuidade da parceria.

8.2 PRINCIPAIS RESULTADOS

Os seguintes resultados foram obtidos com esta pesquisa:

1. Agati, Bauer e Honsell (Agati *et al.*, 2020) **Augmented reality for manual assembly in industry 4.0: Gathering guidelines**. In: 2020 22nd Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR). IEEE, 2020. p. 179-188. Artigo com revisão da Literatura que conclui com a apresentação de diretrizes de projeto de RA e de gamificação;
2. Bauer, Agati e Hounsell (Bauer *et al.*, 2020) **Manual PCB assembly using Augmented Reality towards Total Quality**. In: IEEE. 2020 22nd Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR). [S.l.], 2020. p. 189–198. Artigo com revisão de literatura sobre o uso de RA para auxiliar a montagem manual, apresentando os requisitos e o projeto de arquitetura para um sistema de RA aplicado ao contexto de montagem manual de placas de circuito impresso (PCI);
3. Bauer, Watambak, Agati, Hounsell e Silva (Bauer *et al.*, 2021) **Development and Evaluation of a PCB's Manual Assembly System using Augmented Reality and Total Quality**. In: Proceedings of the 23rd Symposium on Virtual and Augmented Reality. [S.l.: s.n.], 2021. p. 24–32. Artigo com apresentação e avaliação do sistema RAMM;

4. Peixe, Agati e Hounsell (Peixe *et al.*, 2023) **Manual Assembly Augmented Reality System Implementation**: : A systematic literature mapping. In: Proceedings of the 25th Symposium on Virtual and Augmented Reality. [S.l.: s.n.], 2023. p. 17–25. Artigo com revisão de literatura sobre montagem manual auxiliada por RA;
5. Agati, Hounsell e Paterno (Agati *et al.*, 2024) **GRAAL- Modeling, Prototyping and Assessing a Gamified Responsible Augmented Assembly Line System**. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Springer, v. 132, n. 5, p. 2735– 2751, 2024. Artigo em revista internacional que descreve o modelo conceitual do GRAAL e sua avaliação, através de um protótipo usando RA e gamificação;
6. Software para auxílio à montagem manual denominado **GRAAL**, 2023.
7. Software GRAAL foi bem avaliado no quesito aceitação (usando TAM 3) e gamificação (usando GAMEX).

8.3 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES

Nesta seção resumem-se as principais contribuições observadas durante o projeto do GRAAL.

1. Foram elencadas diretrizes de projeto de RA que se mostraram úteis na validação de sistemas de RA para a indústria.
2. Adotando as diretrizes de projeto de RA, foi criado um modelo conceitual para articular a coexistência de um sistema de RA com gamificação, para a indústria. O GRAAL humaniza a proposta de uma gamificação do lado da operadora, quando considera a *persona*, individualiza elementos da narrativa (avatar, brindes), considera carga cognitiva e cria na interface mensagens voltadas ao seu bem-estar e saúde. Inclui-se ainda, o uso de uma gamificação não obrigatória com a opção de ser desligada a qualquer momento pela própria operadora, respeitando seu ritmo e momento cognitivo. O GRAAL, por outro lado, contempla os interesses da indústria na busca da otimização do desempenho nas tarefas executadas de forma transparente, quando mostra para a operadora seu ritmo da montagem e taxa de acertos de forma lúdica;
3. O GRAAL usou o conceito de aplicação epífita, ou seja, a gamificação pode ser desligada a qualquer momento sem prejuízo da continuidade do sistema de RA e sem que as variáveis necessárias à gamificação sejam perdidas, podendo a gamificação retornar a qualquer momento, sem descontinuidade;
4. A metodologia de seleção de elementos de jogos no processo de gamificação é uma contribuição deste trabalho pois, de forma única, considera as indicações da literatura, as características dos usuários e as condicionantes em que esse processo ocorrerá;

5. Durante a aplicação dos questionários de avaliação, houve uma compreensão de como os instrumentos podem ser utilizados na indústria, principalmente o GAMEX, que teve seus construtos reinterpretados face às condicionantes Ambiente da Aplicação e Contexto da Aplicação;
6. As decisões do projeto de gamificação de se utilizar da estratégia de apresentar a gamificação de forma gradativa, tanto em forma como em contexto (*scaffolding*), não foram encontradas em outras gamificações estudadas para a indústria.
7. Por fim, o GRAAL se mostrou uma solução capaz de articular a gamificação e a RA em ambiente de forma eficiente (conforme o TAM 3) e motivar a operadora (conforme o GAMEX).

8.4 TRABALHOS FUTUROS

Durante a conclusão do GRAAL, observou-se que algumas melhorias e desdobramentos poderiam ser efetuados. Eles são listados a seguir.

8.4.1 Melhorias

Seria interessante a utilização do GRAAL em uma linha de montagem manual por um longo período. Durante esse processo seria possível conduzir aplicações de questionário de esforço cognitivo para se avaliar como o sistema contribui para aliviar a carga cognitiva dos operadores ao longo do tempo e se é necessária a alteração dos elementos de gamificação.

As respostas às questões abertas mostraram que é necessário investir no desenvolvimento de melhores interfaces para potencializar os resultados da gamificação, com diferentes níveis de apresentação de informações.

Migrar as principais variáveis do sistema, que no momento estão *hard-coded*, para uma área de configuração de variáveis do GRAAL acessível à supervisão permitindo modificar, por exemplo, o tempo de montagem de cada PCI e seu desvio padrão, número de montagens para a apresentação da tela de resumo, escolha da narrativa de gamificação e o tempo de sua existência, bem como novos brindes e avatares, com uma interface acessível ao supervisor.

As linhas de montagem manual podem trabalhar com uma quantidade grande de diferentes placas para a montagem. Pode-se criar um sistema de autoria para a inserção e arquivo de diferentes imagens das diferentes placas.

Na interface, para componentes críticos que possuam polaridade ou indicação de pinagem, pode-se considerar uma animação que, além de rotacionar em diversos ângulos, depois de um período, pare na posição correta e leve o componente virtual com sua polaridade correta até o local real da montagem, como forma de orientar mais precisamente sua inserção, como sugerido por um dos respondentes.

Efetuar uma revisão detalhada dos construtos do GAMEX para a área industrial.

8.4.2 Desdobramentos

Embora não tenha sido desenvolvido para essa finalidade, foram observadas diversas sugestões para a utilização do GRAAL como ferramenta de treinamento. Acredita-se que seja possível se considerar metodologias de treinamento e incorporá-las ao modelo do GRAAL para satisfazer as necessidades dessa área. Isto implica em se definir objetivos pedagógicos associados à tarefa, bem como investigar uma metodologia para conduzir o processo. O GRAAL permite que o aprendizado ocorra de forma lúdica e com menor esforço cognitivo, uma vez que no modo de treinamento, ele poderia inserir textos mais explicativos e explorar todo o espaço da tela, o que não é possível em ambiente de produção. Ainda nessa área, existe a possibilidade de treinamento remoto, onde um(a) operador(a) mais experiente pode orientar simultaneamente mais de um(a) treinando(a), remotamente, com controle de suas telas e enviando informações audíveis ou visuais/textuais. A gamificação do treinamento poderia trazer maior ludicidade ao aprendizado e reduzir o tempo de aprendizado de novos funcionários.

Além da detecção de erro de montagem, o sistema poderia apontar o componente faltante ou montado erroneamente, o que significaria um aumento no controle de qualidade da linha e uma diminuição do tempo de retrabalho na detecção de erros de montagem. O sistema poderia fornecer mais informações a respeito do componente detectado e sugestões de procedimentos para evitar a inserção incorreta ou a falta de sua inserção durante a montagem. Isto implicaria em se encontrar uma solução de visão computacional que considerasse a diversidade e o tamanho reduzido dos componentes face a distância da câmera em relação à PCI.

As variáveis do vetor de gamificação para cada operadora, acumuladas em um banco de dados ao longo de um período, podem ser analisadas por um algoritmo de aprendizado de máquina que possa sugerir os elementos de gamificação mais prováveis de êxito para aquela operadora em particular, permitindo uma gamificação adaptativa dinâmica automática.

REFERÊNCIAS

- AGATI, Salvador S *et al.* Augmented reality for manual assembly in industry 4.0: Gathering guidelines. In: IEEE. **2020 22nd Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)**. [S.l.], 2020. p. 179–188. Citado 4 vezes nas páginas 36, 96, 101 e 122.
- AGATI, Salvador S; HOUNSELL, Marcelo da S; PATERNO, Aleksander S. Graal—modeling, prototyping and assessing a gamified responsible augmented assembly line system. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Springer, v. 132, n. 5, p. 2735–2751, 2024. Citado na página 123.
- AL-ZUHERIL, A. A.; XING, L. X. Ergonomics design measures in manual assembly work. **Second International Conference on Engineering System Management & Applications**, IEEEExplore, p. 1–6, 2010. Citado na página 52.
- ALCANTARA, M. F.; SILVA, A. G.; HOUNSELL, M. S. Enriched barcodes applied in mobile robotics and augmented reality. **IEEE Latin America Transactions**, v. 13, n. 12, p. 3913–3921, 2015. Citado na página 22.
- AMO, I. F. *et al.* A systematic review of augmented reality content-related techniques for knowledge transfer in maintenance applications. **Computers in Industry**, Elsevier, v. 103, n. 49, p. 47–71, 2018. Citado 4 vezes nas páginas 38, 41, 60 e 81.
- AZUMA, Ronald T. A survey of augmented reality. **Presence: Teleoperators & Virtual Environments**, MIT Press, v. 6, n. 4, p. 355–385, 1997. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 21.
- BARTLE, Richard. Hearts, clubs, diamonds, spades: Players who suit muds. **Journal of MUD research**, v. 1, n. 1, p. 19, 1996. Citado 3 vezes nas páginas 33, 88 e 90.
- BAUER, Rudieri Dietrich *et al.* Manual pcb assembly using augmented reality towards total quality. In: IEEE. **2020 22nd Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)**. [S.l.], 2020. p. 189–198. Citado 11 vezes nas páginas 16, 17, 75, 77, 79, 80, 84, 85, 87, 96 e 122.
- BAUER, Rudieri Dietrich *et al.* Development and evaluation of a pcb’s manual assembly system using augmented reality and total quality. In: **Proceedings of the 23rd Symposium on Virtual and Augmented Reality**. [S.l.: s.n.], 2021. p. 24–32. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 122.
- BECKER, Christian; SCHOLL, Armin. A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. **European journal of operational research**, Elsevier, v. 168, n. 3, p. 694–715, 2006. Citado na página 15.
- BENIN, Franciele de Mattos Carlott; PESSA, Sergio Luiz Ribas. Método nasa tlx: revisão sistemática da produção científica nacional no período de 2005 a 2017. 2019. Citado na página 76.
- BILLINGHURST, Mark; CLARK, Adrian; LEE, Gun. A survey of augmented reality. 2015. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.
- BORTOLINI, M. *et al.* Assembly system design in the industry 4.0 era: a general framework. **International Federation of Automatic Control**, Elsevier, v. 50, n. 1, p. 5700–5705, 2017. Citado na página 48.

BOTTANI, Eleonora; VIGNALI, Giuseppe. Augmented reality technology in the manufacturing industry: A review of the last decade. **IISE Transactions**, Taylor & Francis, v. 51, n. 3, p. 284–310, 2019. Citado 4 vezes nas páginas 38, 45, 59 e 71.

BRASIL. Lei geral de proteção de dados - lgpd. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 2018. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/113709.htm. Citado 2 vezes nas páginas 48 e 117.

BROLIN, Anna. **An investigation of cognitive aspects affecting human performance in manual assembly**. Tese (Doutorado) — Loughborough University, 2016. Citado na página 52.

BUCHINGER, Diego; CAVALCANTI, Gustavo Andriolli de Siqueira; HOUNSELL, Marcelo da Silva. Mecanismos de busca acadêmica: uma análise quantitativa. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, v. 6, n. 1, p. 108–120, 2014. Citado na página 37.

CARDOSO, L. F.; MARIANO, F. C. M. Q.; ZORZAL, E. R. A survey of industrial augmented reality. **Computer & Industrial Engineering**, Elsevier, v. 139, p. 2–12, 2019. Citado 5 vezes nas páginas 16, 36, 38, 46 e 47.

CHEN, Jenova. Flow in games (and everything else). **Communications of the ACM**, ACM New York, NY, USA, v. 50, n. 4, p. 31–34, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 56 e 85.

CHOU, Yu-Kai. **Actionable Gamification: beyond points, badges and leaderboards**. [S.l.]: Octalysis Media: Fremont, CA, 2014. Citado 3 vezes nas páginas 25, 29 e 30.

COHEN, Y. *et al.* Assembly systems in industry 4.0 era: a road map to understand assembly 4.0. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Springer, n. 105, p. 4037–4054, 2019. Citado 7 vezes nas páginas 38, 47, 48, 60, 63, 70 e 71.

CONEJO, Gabriel Guebarra. **Detalhando a Motivação em um processo de Gamificação**. [S.l.]: Trabalho de Conclusão de Curso Universidade do Estado de Santa Catarina, 2019. Citado 8 vezes nas páginas 26, 29, 31, 32, 33, 83, 85 e 86.

DAMIANI, L. *et al.* Augmented and virtual reality applications in industrial systems: A qualitative review towards the industry 4.0 era. **International Federation of Automatic Control**, Elsevier, v. 51, n. 11, p. 624–630, 2018. Citado 6 vezes nas páginas 38, 41, 61, 70, 78 e 81.

DECI, Edward L.; RYAN, Richard M. **Intrinsic Motivation and Self-Determination in Human Behavior**. [S.l.]: Springer Science, 85. Citado na página 32.

DENNING, Peter J. Is computer science science? **Communications of the ACM**, v. 48, n. 4, p. 27–31, abr. 2005. ISSN 0001-0782. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1053291.1053309>. Citado na página 18.

DETERDING, Sebastian *et al.* From game design elements to gamefulness: defining "gamification". In: **Proceedings of the 15th international academic MindTrek conference: Envisioning future media environments**. [S.l.: s.n.], 2011. p. 9–15. Citado na página 25.

DETERDING, Sebastian *et al.* Gamification. using game-design elements in non-gaming contexts. In: **CHI '11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2011. (CHI EA '11), p. 2425–2428.

ISBN 9781450302685. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/1979742.1979575>. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 25.

DIAS, Diogo Angnalo; ZORZAL, Ezequiel Roberto. Desenvolvimento de um jogo sério com realidade aumentada para apoiar a educação ambiental. In: **Workshop on Virtual, Augmented Reality and Games at the XII Simpósio Brasileiro de Games e Entretenimento Digital, SBGames, São Paulo**. [S.l.: s.n.], 2013. Citado na página 16.

DINIZ, Raimundo Lopes. **Avaliação das Demandas Física e Mental no Trabalho do Cirurgião em Procedimentos Eletivos**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, 2018. Citado 3 vezes nas páginas 76, 90 e 117.

EDEN, Amnon H. Three paradigms of computer science. **Minds and Machines**, v. 17, n. 2, p. 135–167, 2007. ISSN 1572-8641. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11023-007-9060-8>. Citado na página 18.

EGGER, Johannes; MASOOD, Tariq. Augmented reality in support of intelligent manufacturing: A systematic literature review. **Computers & Industrial Engineering**, Elsevier, p. 1–34, 2019. Citado 7 vezes nas páginas 36, 38, 49, 60, 69, 70 e 81.

EPPMANN, René; BEKK, Magdalena; KLEIN, Kristina. Gameful experience in gamification: Construction and validation of a gameful experience scale (gameX). **Journal of interactive marketing**, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 43, n. 1, p. 98–115, 2018. Citado na página 156.

"EUROPEAN-COMISSION. Industry 5.0. **European Comission of Research and Inovation**, 2017. Disponível em: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation/industry-50_en. Citado na página 15.

FERRO, Lauren S; WALZ, Steffen P; GREUTER, Stefan. Towards personalised, gamified systems: an investigation into game design, personality and player typologies. In: **Proceedings of The 9th Australasian Conference on Interactive Entertainment: Matters of Life and Death**. [S.l.: s.n.], 2013. p. 1–6. Citado na página 34.

FLATLA, David R *et al.* Calibration games: making calibration tasks enjoyable by adding motivating game elements. In: **Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology**. [S.l.: s.n.], 2011. p. 403–412. Citado na página 17.

FUNK, Markus *et al.* motionEAP: An overview of 4 years of combining industrial assembly with augmented reality for industry 4.0. In: **Proceedings of the 16th International Conference on Knowledge Technologies and Data-driven Business**. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–4. Citado 6 vezes nas páginas 38, 50, 60, 78, 81 e 114.

GELAIN, Adelaine *et al.* Uma breve história da computação aplicada no brasil. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, v. 6, n. 2, p. 123–135, 2014. Citado na página 18.

GIUNTA, L. *et al.* A review of augmented reality research for design practice: Looking to the future. **NordDesign 2018**, University of Bath, p. 1–14, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 42.

GROUP, Nielsen Norman. Usability 101: Introduction to usability. 2020. Disponível em: <https://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability/>. Citado na página 52.

GRUND, Jonas *et al.* A gamified and adaptive learning system for neurodivergent workers in electronic assembling tasks. In: **Proceedings of the Conference on Mensch und Computer**. [S.l.: s.n.], 2020. p. 491–494. Citado na página 57.

HAMARI, Juhó; KOIVISTO, Jonna; SARSA, Harri. Does gamification work?—a literature review of empirical studies on gamification. In: IEEE. **2014 47th Hawaii international conference on system sciences**. [S.l.], 2014. p. 3025–3034. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.

HART, Sandra G; STAVELAND, Lowell E. Development of nasa-tlx (task load index): Results of empirical and theoretical research. In: **Advances in psychology**. [S.l.]: Elsevier, 1988. v. 52, p. 139–183. Citado 3 vezes nas páginas 49, 76 e 90.

HOLD, Philipp *et al.* **Planning operator support in cyber-physical assembly systems**. [S.l.]: Hochschule Reutlingen, 2016. Citado na página 15.

KAMUNYA, Samuel; OBOKO, Robert; MAINA, Elizaphan. A systematic mapping of adaptive gamification in e-learning. **Open Journal for**, p. 53, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 35.

KATO, Hirokazu; BILLINGHURST, Mark. Marker tracking and hmd calibration for a video-based augmented reality conferencing system. In: IEEE. **Proceedings 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality (IWAR'99)**. [S.l.], 1999. p. 85–94. Citado na página 25.

KIM, S. K. *et al.* Augmented-reality survey: from concept to application. **KSII Transactions on Internet and Information Systems**, KSII, v. 11, n. 2, p. 982–1004, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 39.

KITCHENHAM, Barbara; CHARTERS, Stuart. Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. Citeseer, 2007. Citado na página 36.

KLOCK, Ana Carolina Tomé. **Análise da Influência da Gamificação na Interação, na Comunicação e no Desempenho dos Estudantes em um Sistema de Hipermídia Adaptativo Educacional**. [S.l.]: Dissertação de Mestrado Universidade do Estado de Santa Catarina, 2017. Citado 5 vezes nas páginas 26, 27, 30, 31 e 83.

KLOCK, Ana Carolina Tomé; GASPARINI, Isabela; PIMENTA, Marcelo Soares. 5w2h framework: A guide to design, develop and evaluate the user-centered gamification. In: **Proceedings of the 15th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2016. (IHC '16). ISBN 9781450352352. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3033701.3033715>. Citado 3 vezes nas páginas 25, 29 e 30.

KLOCK, Ana Carolina Tomé *et al.* Tailored gamification: A review of literature. **International Journal of Human-Computer Studies**, v. 144, p. 102495, 2020. ISSN 1071-5819. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071581920300975>. Citado 7 vezes nas páginas 13, 34, 60, 88, 93, 134 e 135.

KLOCK, A. T. *et al.* Gamification in e-learning systems: A conceptual model to engage students and its application in an adaptive e-learning system. In: SPRINGER. **International Conference on Learning and Collaboration Technologies**. [S.l.], 2015. p. 595–607. Citado na página 30.

KORN, Oliver; FUNK, Markus; SCHMIDT, Albrecht. Towards a gamification of industrial production: a comparative study in sheltered work environments. In: **Proceedings of the 7th ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems**. [S.l.: s.n.], 2015. p. 84–93. Citado 2 vezes nas páginas 55 e 57.

KORN, O.; MUSCHICK, P.; SCHMIDT, A. Gamification of production? a study on the acceptance of gamified work processes in the automotive industry. **Advances in Affective and Pleasurable Design. Advances in Intelligent Systems and Computing**, Springer, v. 483, p. 433–445, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 56 e 57.

LAMAS, P. F. *et al.* A review on industrial augmented reality systems for the industry 4.0 shipyard. (**IEEE Access Special Section on Human-Centered Smart Systems and Technologies**, IEEE, v. 6, p. 13358–13375, 2018. Citado 9 vezes nas páginas 38, 42, 59, 63, 64, 71, 77, 78 e 81.

LE, Yang; QIANG, Su; LIANGFA, Shen. A novel method of analyzing quality defects due to human errors in engine assembly line. In: IEEE. **2012 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering**. [S.l.], 2012. v. 3, p. 154–157. Citado na página 15.

LEE, Jiyong *et al.* A case study in an automotive assembly line: exploring the design framework for manufacturing gamification. In: **Advances in ergonomics of manufacturing: Managing the enterprise of the future**. [S.l.]: Springer, 2016. p. 305–317. Citado 2 vezes nas páginas 83 e 100.

LITHOXOIDOU, E *et al.* A novel social gamified collaboration platform enriched with shop-floor data and feedback for the improvement of the productivity, safety and engagement in factories. **Computers & Industrial Engineering**, Elsevier, v. 139, p. 105691, 2020. Citado na página 57.

LIU, Shunli; IDRIS, Muhammad Zaffwan. Exploring museum service experience using gamification-based personas with distinct motivations. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, IOP Publishing, v. 573, p. 012020, aug 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/573/1/012020>. Citado na página 33.

MANURI, F.; SANNA, A. A survey on applications of augmented reality. **Advances in Computer Science: an International Journal**, Advances in Computer Science: an International Journal, v. 5, n. 19, p. 18–27, 2016. Citado na página 38.

MARANGUNIĆ, Nikola; GRANIĆ, Andrina. Technology acceptance model: a literature review from 1986 to 2013. **Universal access in the information society**, Springer, v. 14, p. 81–95, 2015. Citado na página 102.

MARCZEWSKI, A. Gamification user types hexad. 2013. Disponível em: <https://www.gamified.uk/user-types/>. Citado na página 33.

MARQUES, Bernardo *et al.* Investigating different augmented reality approaches in circuit assembly: a user study. In: **Eurographics (Short Papers)**. [S.l.: s.n.], 2019. p. 45–48. Citado na página 59.

MCGINN, Jennifer; KOTAMRAJU, Nalini. Data-driven persona development. In: **Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems**. [S.l.: s.n.], 2008. p. 1521–1524. Citado na página 83.

MILGRAM, Paul *et al.* Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In: INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICS AND PHOTONICS. **Telemanipulator and telepresence technologies**. [S.l.], 1994. v. 2351, p. 282–292. Citado na página 21.

MILGRAM, Paul *et al.* Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In: INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICS AND PHOTONICS. **Telemanipulator and telepresence technologies**. [S.l.], 1995. v. 2351, p. 282–292. Citado na página 21.

MONTERRAT, Baptiste; LAVOUÉ, Élise; GEORGE, Sébastien. Motivation for learning: Adaptive gamification for web-based learning environments. In: **6th International Conference on Computer Supported Education (CSEDU 2014)**. [S.l.: s.n.], 2014. p. 117–125. Citado na página 35.

MUKHOPADHYAY, Abhishek *et al.* PCB in the context of smart manufacturing. In: **Research into Design for a Connected World**. [S.l.: s.n.], 2019. p. 655–663. Citado na página 15.

NACKE, Lennart E; BATEMAN, Chris; MANDRYK, Regan L. Brainhex: A neurobiological gamer typology survey. **Entertainment computing**, Elsevier, v. 5, n. 1, p. 55–62, 2014. Citado na página 34.

NAIK, Vandana; KAMAT, Venkatesh. Adaptive and gamified learning environment (agle). In: IEEE. **2015 IEEE Seventh International Conference on Technology for Education (T4E)**. [S.l.], 2015. p. 7–14. Citado na página 34.

NASA. Nasa task load index (tlx). **National Aeronautics and Space Administration**, 2021. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20000021488.pdf>. Citado 3 vezes nas páginas 49, 76 e 90.

NIELSEN J.; MOLICH, R. Improving a human-computer dialogue. **Communications of the ACM**, ACM, v. 33, n. 3, p. 338–348, 1990. Citado 4 vezes nas páginas 40, 60, 61 e 81.

NUNES, Francisco; SILVA, Paula Alexandra; ABRANTES, Filipe. Human-computer interaction and the older adult: an example using user research and personas. In: **Proceedings of the 3rd International Conference on pervasive technologies related to assistive environments**. [S.l.: s.n.], 2010. p. 1–8. Citado na página 83.

PALMARINI, Riccardo *et al.* A systematic review of augmented reality applications in maintenance. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, Elsevier, v. 49, p. 215–228, 2018. Citado 6 vezes nas páginas 38, 44, 60, 61, 63 e 70.

PARREIRA, Pedro *et al.* Technology acceptance model (TAM): Precursor models and evolutionary models (in Portuguese). **Entrepreneurial Skills in Polytechnic Higher Education: Reasons, Influences, Support services and Education**, p. 143, 2018. Citado na página 102.

PEIXE, Lilian Cristina; AGATI, Salvador; HOUNSELL, Marcelo Da Silva. Manual assembly augmented reality systems implementation: A systematic literature mapping. In: **Proceedings of the 25th Symposium on Virtual and Augmented Reality**. [S.l.: s.n.], 2023. p. 17–25. Citado na página 123.

PETERSEN, Kai; ALI, Nauman Bin. Identifying strategies for study selection in systematic reviews and maps. In: **2011 International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement**. [S.l.: s.n.], 2011. p. 351–354. Citado na página 36.

PETERSEN, Kai *et al.* Systematic mapping studies in software engineering. **EASE'08 Proceedings of the 12th international conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering**, p. 68–77, 2008. ISSN 02181940. Citado na página 36.

PETERSEN, Kai; VAKKALANKA, Sairam; KUZNIARZ, Ludwik. Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. **Information and Software Technology**, Elsevier, v. 64, p. 1–18, 2015. Citado na página 36.

PREECE, J.; SHARP, H.; ROGERS, Y. **Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction**. Wiley, 2015. ISBN 9781119020752. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=n0h9CAAQBAJ>. Citado na página 31.

RYAN, R. M.; DECI, E. L. Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions. **Contemporary educational psychology**, v. 25, n. 1, p. 54–67, 2000. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 85.

SCHMALSTIEG, D. **Augmented Reality, Principles and Practice**. [S.l.]: Addison-Wesley Professional, 2016. Citado na página 23.

SCHULDT, J.; FRIEDEMANN, S. The challenges of gamification in the age of industry 4.0: Focusing on man in future machine-driven working environments. p. 1622–1630, April 2017. ISSN 2165-9567. Citado na página 16.

SCHWARZ, Christina V *et al.* Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. **Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching**, Wiley Online Library, v. 46, n. 6, p. 632–654, 2009. Citado na página 65.

SEO, Kyoungwon *et al.* Goldilocks conditions for workplace gamification: how narrative persuasion helps manufacturing workers create self-directed behaviors. **Human-Computer Interaction**, Taylor & Francis, p. 1–38, 2020. Citado na página 73.

SHNEIDERMAN, Ben *et al.* **Designing the user interface: Strategies for effective human-computer interaction**. [S.l.]: Pearson Education, 2016. Citado 4 vezes nas páginas 40, 60, 61 e 81.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de software**. PEARSON BRASIL, 2011. ISBN 9788579361081. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=H4u5ygAACAAJ>. Citado na página 32.

STANDARDIZATION, International Organization for. **Ergonomics of human-system interaction Part 110: Dialogue principles**. 2020. Available at "<https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:9241:-110:ed-1:v1:en>" (2020/05/12). Citado 4 vezes nas páginas 40, 60, 61 e 81.

SWEETSER, Penelope; WYETH, Peta. Gameflow: a model for evaluating player enjoyment in games. **Computers in Entertainment (CIE)**, ACM New York, NY, USA, v. 3, n. 3, p. 3–3, 2005. Citado 2 vezes nas páginas 56 e 85.

TONDELLO, Gustavo F *et al.* Empirical validation of the gamification user types hexad scale in english and spanish. **International Journal of Human-Computer Studies**, Elsevier, v. 127, p. 95–111, 2019. Citado na página 34.

TONDELLO, Gustavo F *et al.* The gamification user types hexad scale. In: **Proceedings of the 2016 annual symposium on computer-human interaction in play**. [S.l.: s.n.], 2016. p. 229–243. Citado na página 34.

TORI, R; HOUNSELL, M.S. **Introdução a Realidade Virtual e Aumentada**. [S.l.]: Editora SBC, 2018. Citado 4 vezes nas páginas 16, 21, 22 e 23.

VÄRNO, Kätlin *et al.* Development of a smart workstation by using ar technology. **Annals of DAAAM & Proceedings**, v. 30, 2019. Citado na página 16.

VENKATESH, Viswanath; BALA, Hillol. Technology acceptance model 3 and a research agenda on interventions. **Decision sciences**, Wiley Online Library, v. 39, n. 2, p. 273–315, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 102 e 155.

VUFORIA. Vuforia engine developer portal. **Vuforia**, 2024. Disponível em: <https://developer.vuforia.com/>. Citado na página 25.

WANG, Xiangyu; ONG, Soh K; NEE, Andrew YC. A comprehensive survey of augmented reality assembly research. **Advances in Manufacturing**, Springer, v. 4, n. 1, p. 1–22, 2016. Citado 7 vezes nas páginas 38, 39, 60, 61, 69, 70 e 81.

WARMELINK, Harald *et al.* Gamification of the work floor: A literature review of gamifying production and logistics operations. In: HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES. **Proceedings of the 51st Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)**. [S.l.], 2018. Citado na página 17.

WARMELINK, Harald *et al.* Gamification of production and logistics operations: Status quo and future directions. **Journal of Business Research**, v. 106, p. 331–340, 2020. Citado 5 vezes nas páginas 55, 56, 58, 59 e 73.

WAZLAWICK, Raul Sidnei. **Metodologia de pesquisa para ciência da computação**. [S.l.]: Elsevier, 2009. v. 2. Citado na página 18.

WERBACH, Kevin; HUNTER, Dan. **For the win: How game thinking can revolutionize your business**. [S.l.]: Wharton Digital Press, 2012. Citado 3 vezes nas páginas 26, 27 e 28.

WERRLICH, S. *et al.* An overview of evaluations using augmented reality for assembly training tasks. **International Journal of Computer and Information Engineering**, World Academy of Science, Engineering and Technology, v. 11, n. 10, p. 1129–1135, 2017. Citado 10 vezes nas páginas 38, 40, 59, 60, 61, 63, 64, 70, 71 e 81.

XU, Xun *et al.* Industry 4.0 and industry 5.0—inception, conception and perception. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 61, p. 530–535, 2021. ISSN 0278-6125. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612521002119>. Citado na página 15.

YANG, Zhen *et al.* Influences of augmented reality assistance on performance and cognitive loads in different stages of assembly task. **Frontiers in psychology**, Frontiers, v. 10, p. 1703, 2019. Citado na página 73.

APÊNDICE A – TABELA 6 (Klock *et al.*, 2020)

A.C.T. Klock, et al.

International Journal of Human-Computer Studies 144 (2020) 102495

Table 6
Suggested game elements for each player type of Bartle typology.

Game element	Achiever	Explorer	Killer	Socializer
Badge	2 (Akasaki et al., 2016; Fernandes and Junior, 2016)	2 (Akasaki et al., 2016; Fuß et al., 2014)	3 (Akasaki et al., 2016; Fernandes and Junior, 2016; Čádanov et al., 2014)	1 (Čádanov et al., 2014)
Challenge	3 (Fuß et al., 2014; Harteveid and Sutherland, 2017; Taspinar et al., 2016)	2 (Fernandes and Junior, 2016; Taspinar et al., 2016)	2 (Al-Smadi, 2015; Taspinar et al., 2016)	1 (Fernandes and Junior, 2016)
Choice	1 (Al-Smadi, 2015)	1 (Harteveid and Sutherland, 2017)	1 (Akasaki et al., 2016)	
Collection	1 (Akasaki et al., 2016)	3 (Akasaki et al., 2016; Al-Smadi, 2015; Fuß et al., 2014)	1 (Akasaki et al., 2016)	
Competition				
Customization	2 (Al-Smadi, 2015; Fuß et al., 2014)	2 (Fuß et al., 2014; Harteveid and Sutherland, 2017)	2 (Al-Smadi, 2015; Fuß et al., 2014)	2 (Fernandes and Junior, 2016; Fuß et al., 2014)
Easter egg	1 (Čádanov et al., 2014)	1 (Fuß et al., 2014)	1 (Fuß et al., 2014)	
Emotion	1 (Harteveid and Sutherland, 2017)	1 (Harteveid and Sutherland, 2017)	1 (Harteveid and Sutherland, 2017)	1 (Harteveid and Sutherland, 2017)
Exploration	1 (Akasaki et al., 2016)	2 (Akasaki et al., 2016; Al-Smadi, 2015)	1 (Akasaki et al., 2016)	1 (Taspinar et al., 2016)
Feedback	2 (Harteveid and Sutherland, 2017; Taspinar et al., 2016)	2 (Al-Smadi, 2015; Taspinar et al., 2016)	1 (Taspinar et al., 2016)	1 (Al-Smadi, 2015)
Gifting				3 (Fuß et al., 2014; Al-Smadi, 2015; Taspinar et al., 2016)
Guild	1 (Taspinar et al., 2016)	2 (Al-Smadi, 2015; Taspinar et al., 2016)	2 (Al-Smadi, 2015; Taspinar et al., 2016)	
Leaderboard	2 (Akasaki et al., 2016; Taspinar et al., 2016)	1 (Akasaki et al., 2016)	3 (Akasaki et al., 2016; Fernandes and Junior, 2016; Taspinar et al., 2016)	
Learning				
Level	3 (Fernandes and Junior, 2016; Fuß et al., 2014; Taspinar et al., 2016)	1 (Fuß et al., 2014)	1 (Fuß et al., 2014)	1 (Fuß et al., 2014)
Meaning	1 (Taspinar et al., 2016)	1 (Taspinar et al., 2016)	3 (Fernandes and Junior, 2016; Fuß et al., 2014; Taspinar et al., 2016)	
Point	1 (Taspinar et al., 2016)	2 (Fuß et al., 2014; Taspinar et al., 2016)	1 (Taspinar et al., 2016)	1 (Taspinar et al., 2016)
Prize	1 (Fernandes and Junior, 2016)	1 (Fuß et al., 2014)	2 (Fernandes and Junior, 2016; Taspinar et al., 2016)	
Reward schedule	1 (Fernandes and Junior, 2016)	1 (Fernandes and Junior, 2016)	2 (Al-Smadi, 2015; Fernandes and Junior, 2016)	
Sigmossing				
Social discovery				
Social network				
Social pressure				
Social status				
Strategy				
Time pressure	1 (Taspinar et al., 2016)	1 (Al-Smadi, 2015)	2 (Al-Smadi, 2015; Harteveid and Sutherland, 2017)	1 (Fuß et al., 2014)
Virtual economy	1 (Al-Smadi, 2015)	1 (Taspinar et al., 2016)	2 (Al-Smadi, 2015; Harteveid and Sutherland, 2017)	2 (Al-Smadi, 2015; Harteveid and Sutherland, 2017)
Voting			1 (Taspinar et al., 2016)	1 (Fuß et al., 2014)

APÊNDICE B – TABELA 10 (Klock *et al.*, 2020)

Table 10
Suggested game elements by gender.

Game element	Gender		Gender identity	
	Women	Men	Femininity	Masculinity
Badge	3 (Codish and Ravid, 2017; Denden et al., 2017b; Tondello et al., 2017a)			
Challenge	1 (Tondello et al., 2017a)			
Choice	1 (Tondello et al., 2017a)			
Collection	1 (Tondello et al., 2017a)			
Competition			1 (Busch et al., 2016)	
Consequence	1 (Orji, 2014)		3 (Busch et al., 2016; Oyibo et al., 2017a; 2017b)	
Customization	3 (Denden et al., 2017b; Orji, 2014; Tondello et al., 2017a)		2 (Denden et al., 2017b; Tondello et al., 2017a)	
Feedback	1 (Denden et al., 2017b)		1 (Busch et al., 2016)	
Gifting			1 (Busch et al., 2016)	
Guild	2 (Busch et al., 2016; Orji, 2014)		1 (Tondello et al., 2017a)	
Leaderboard	3 (Codish and Ravid, 2017; Denden et al., 2017b; Tondello et al., 2017a)		2 (Busch et al., 2016; Tondello et al., 2017a)	
Learning			1 (Codish and Ravid, 2017)	
Level	1 (Tondello et al., 2017a)		1 (Tondello et al., 2017a)	
Lottery	3 (Codish and Ravid, 2017; Denden et al., 2017b; Tondello et al., 2017a)		1 (Denden et al., 2017b)	
Meaning	1 (Tondello et al., 2017a)		1 (Tondello et al., 2017a)	
Point	2 (Codish and Ravid, 2017; Tondello et al., 2017a)		1 (Codish and Ravid, 2017)	
Prize	1 (Tondello et al., 2017a)		2 (Oyibo et al., 2017a; 2017b)	
Signposting	1 (Tondello et al., 2017a)		1 (Busch et al., 2016)	
Social discovery			1 (Busch et al., 2016)	
Social network			1 (Tondello et al., 2017a)	
Social status	2 (Orji, 2014; Tondello et al., 2017a)		1 (Tondello et al., 2017a)	
Virtual economy	1 (Tondello et al., 2017a)		1 (Busch et al., 2016)	
Voting	1 (Tondello et al., 2017a)		1 (Tondello et al., 2017a)	

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO AOS ESPECIALISTAS

GRAAL - Gamificação de linhas de montagem com Realidade Aumentada para a Indústria 4.0

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

O(a) senhor(a) está sendo convidado(a) a participar de uma pesquisa de doutorado intitulada "GRAAL - GAMIFICAÇÃO DE LINHAS DE MONTAGEM MANUAIS COM REALIDADE AUMENTADA PARA A INDÚSTRIA 4.0", tendo como objetivo desenvolver um modelo de gamificação para uso prolongado de um sistema de

Realidade Aumentada (RA) para auxílio de montagem manual.

Não é obrigatório participar de todas as atividades ou responder a todas as perguntas.

Antes de responder às perguntas disponibilizadas neste formulário, estamos apresentando este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, para a sua anuência. Esse Termo de Consentimento é fornecido em formato eletrônico e ao escolher a opção [ACEITO/SIM] o(a) senhor(a) concorda com os termos aqui informados.

Este termo será armazenado eletronicamente (gravado/digitalizado) para eventuais consultas. As informações coletadas ficarão sob a guarda do pesquisador responsável e serão armazenadas e tratadas estatisticamente, sendo seu descarte efetuado após 5 (cinco) anos de uso, apagando-se os arquivos usados para a coleta dos dados. O(a) Senhor(a) não terá despesas e nem será remunerado(a) pela participação na pesquisa. Os riscos deste procedimento são mínimos por envolver a utilização do seu próprio equipamento e ambiente de trabalho/doméstico e por serem os formulários utilizados em ambientes seguros.

Os pesquisadores responsáveis são Salvador Sergi Agati (doutorando), Prof. Dr. Aleksander Sade Paterno (orientador) e, Prof. Dr. Marcelo da Silva Hounsell (coorientador). O(a) senhor(a) tem o direito de não responder qualquer questão, sem necessidade de explicação ou justificativa para tal, podendo também se retirar da pesquisa a qualquer momento, sem qualquer tipo de constrangimento.

Solicitamos a sua autorização para o uso de seus dados para a produção de artigos técnicos e científicos. A sua privacidade será mantida através da não identificação do seu nome pois cada indivíduo será identificado por um número. Uma cópia deste documento poderá lhe ser fornecida impressa, via e-mail, ou disponibilizada em endereço eletrônico, caso deseje.

NOME DO PESQUISADOR RESPONSÁVEL PARA CONTATO: Salvador Sergi Agati
Departamento de Engenharia Elétrica - Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC
TELEFONE: 48 99145-7700 - email: salvador.agati@edu.udesc.br
ENDEREÇO: Rua Paulo Malschitski, 200 – Campus Universitário Prof. Avelino Marcante

TERMO DE CONSENTIMENTO

Declaro que fui informado sobre todos os procedimentos da pesquisa e que recebi de forma clara e objetiva todas as explicações pertinentes ao projeto e que todos os dados a meu respeito serão sigilosos. Eu compreendo que neste estudo, as medições dos experimentos/procedimentos serão feitas usando-se as respostas deste formulário e que fui informado que posso me retirar do estudo a qualquer momento.

1. Aceito participar desta pesquisa

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não *Pular para a seção 8 (Encerramento do Formulário)*

Demografia

Dados demográficos

2. 2. Sexo:

Marcar apenas uma oval.

- Feminino
 Masculino
 Prefiro não informar

3. 3. Data de Nascimento:

Exemplo: 7 de janeiro de 2019

4. 4. Mais alta escolaridade completa:

Marcar apenas uma oval.

- Médio
 Superior
 Mestrado
 Doutorado

5. 5. Qual a sua área de atuação?

Marcar apenas uma oval.

- Exatas (Engenharia, Computação, Matemática, ...)
 Humanas (Psicologia, Pedagogia, Professor, ...)
 Saúde (Fisioterapia, Medicina, ...)

6. 5. O quanto você conhece de Realidade Aumentada?

Marcar apenas uma oval.

1 2 3 4 5

Tenho Tenho conhecimentos profundos

7. 6. O quanto você conhece de Montagem Manual?

Marcar apenas uma oval.

1 2 3 4 5

Tenho Tenho conhecimentos profundos

57. 2. O GRAAL poderá ser usado em **outras/várias** linhas manuais de montagem.

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Disc	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

58. 3. Na sua opinião, qual funcionalidade deveria estar presente no GRAAL que você sentiu **falta**?

59. 4. Na sua opinião, qual funcionalidade é **irrelevante** e deveria ser retirada do GRAAL?

60. 5. Na sua opinião, quais os principais **benefícios** ou **vantagens** de se utilizar o GRAAL na linha de montagem manual?

61. 6. Na sua opinião, quais as principais **dificuldades** ou **desvantagens** de se utilizar o GRAAL na linha de montagem manual?

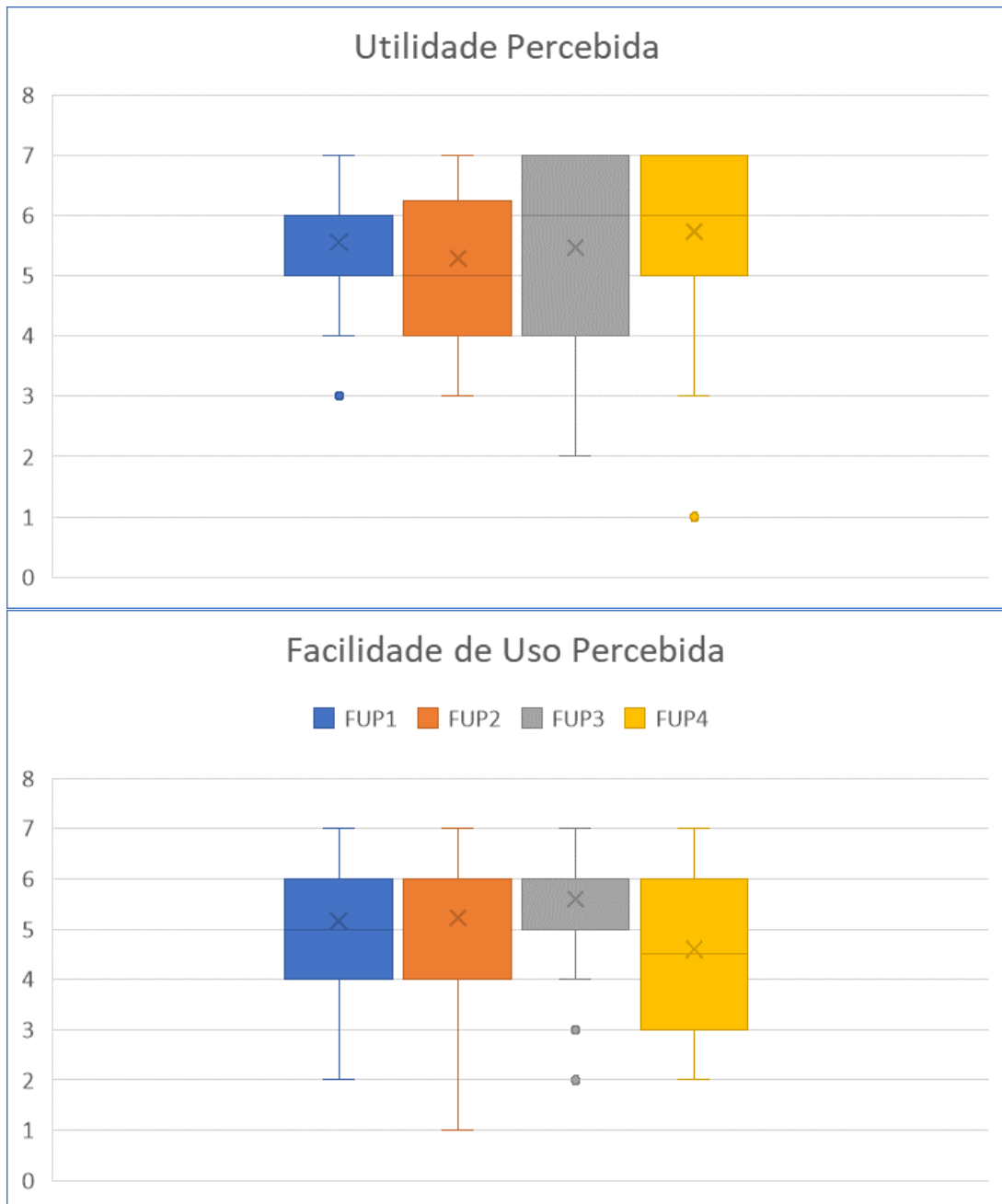
62. 7. Você tem alguma sugestão para a melhoria do GRAAL?

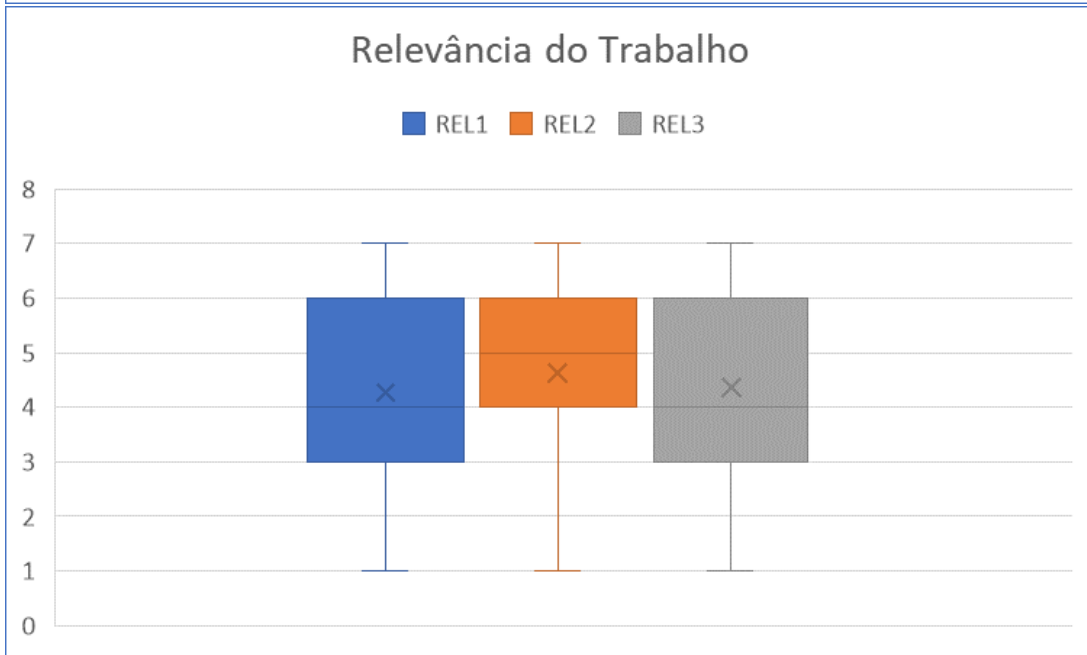
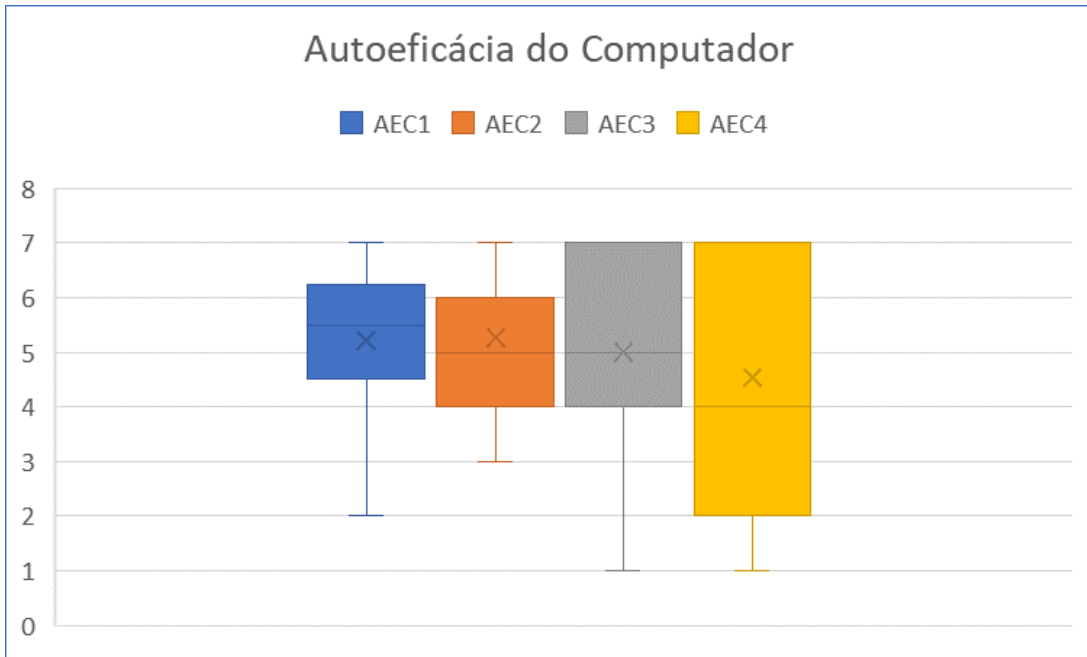
Encerramento do Formulário

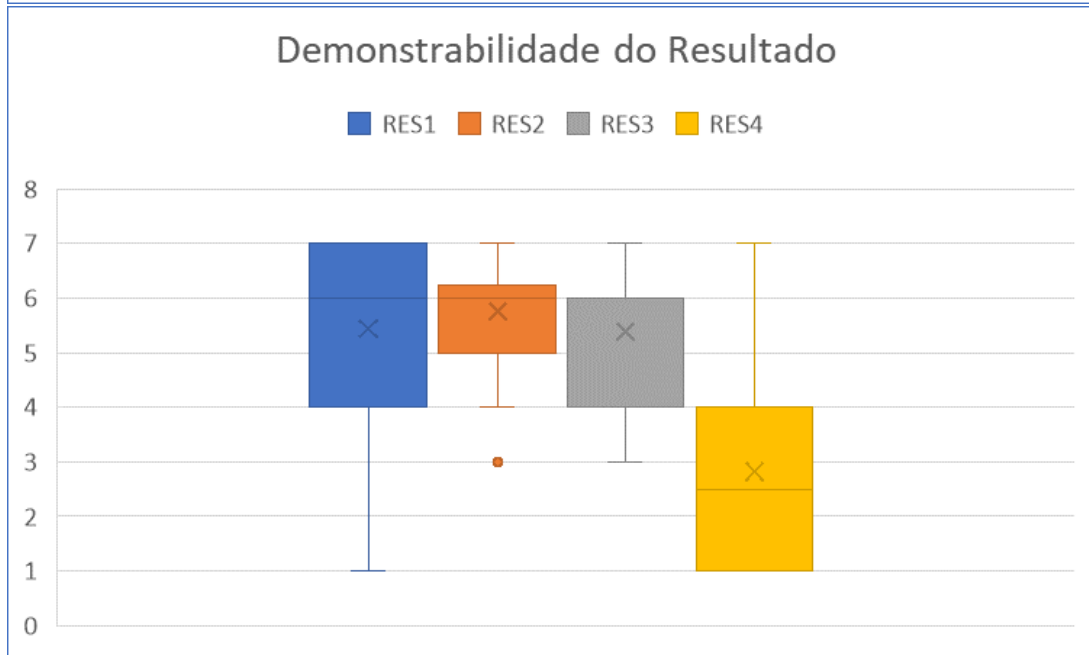
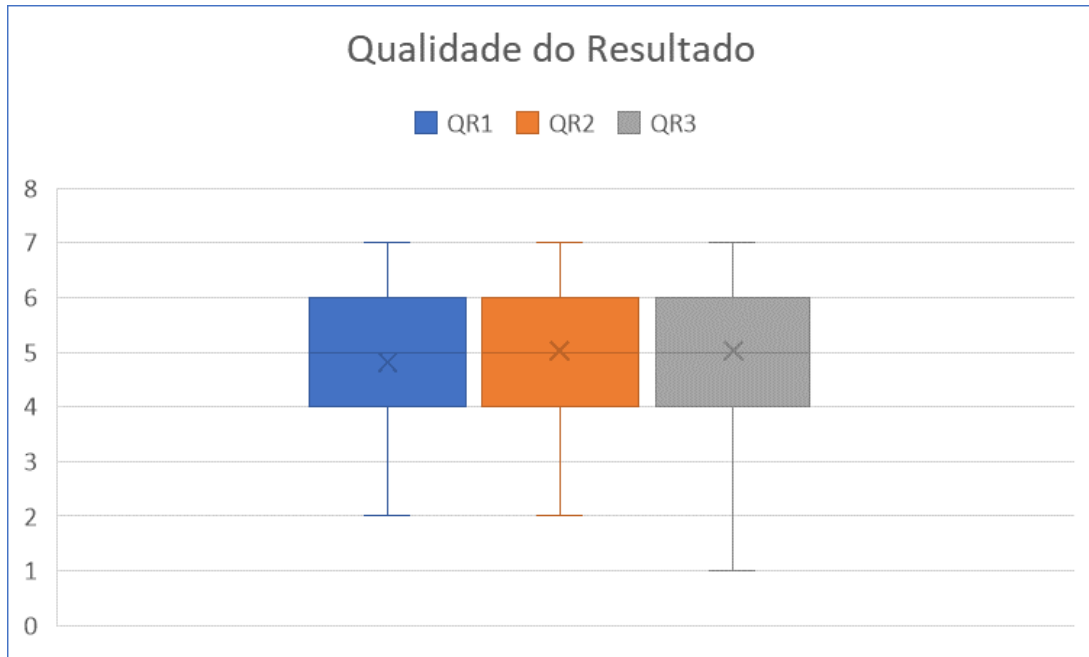
Agradecemos sua participação. Eventuais dúvidas, favor nos contatar no e-mail salvador.agati@edu.udesc.br

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

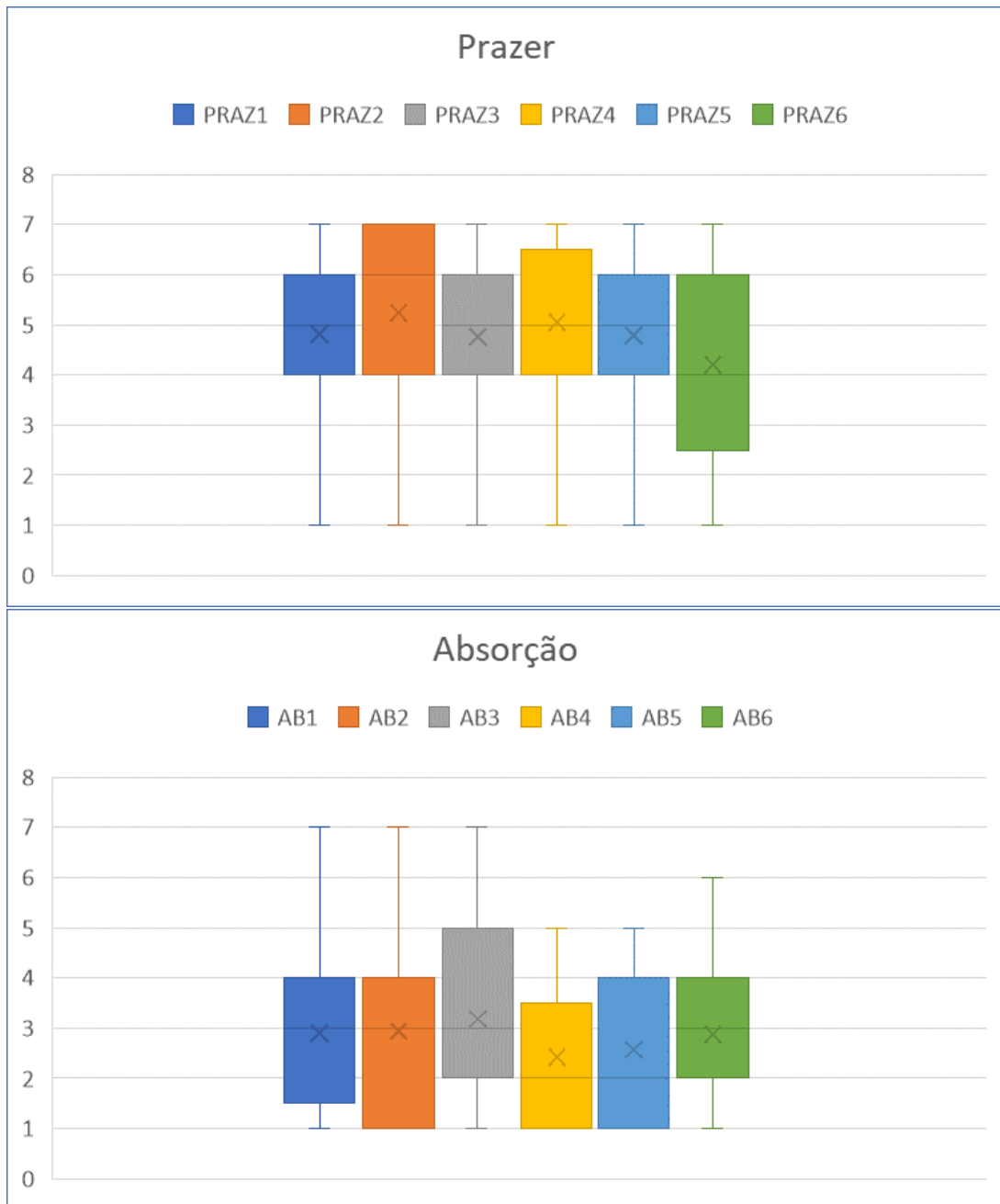
Google Formulários

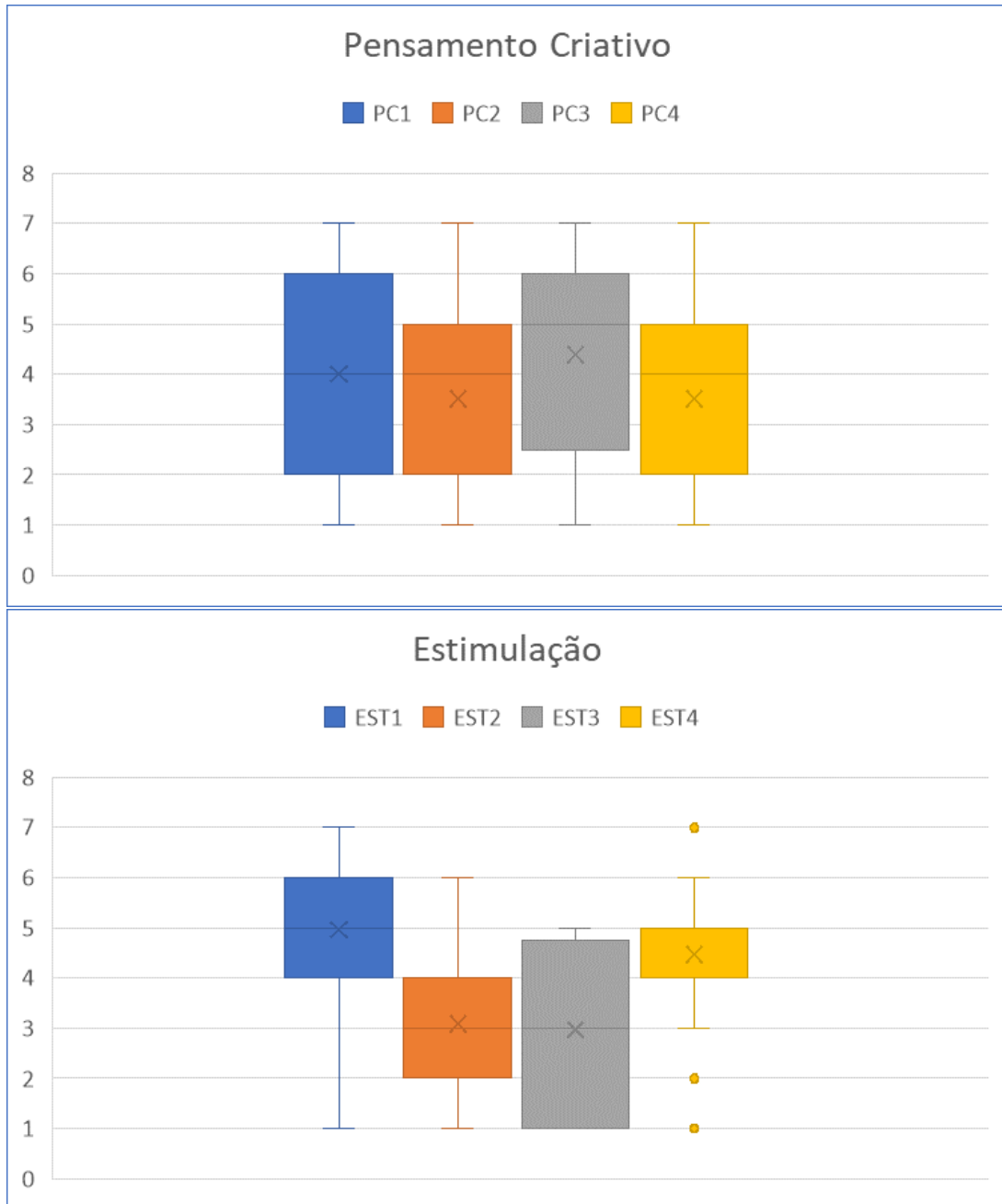
APÊNDICE D – BOX-PLOTS**D.1 TAM3**

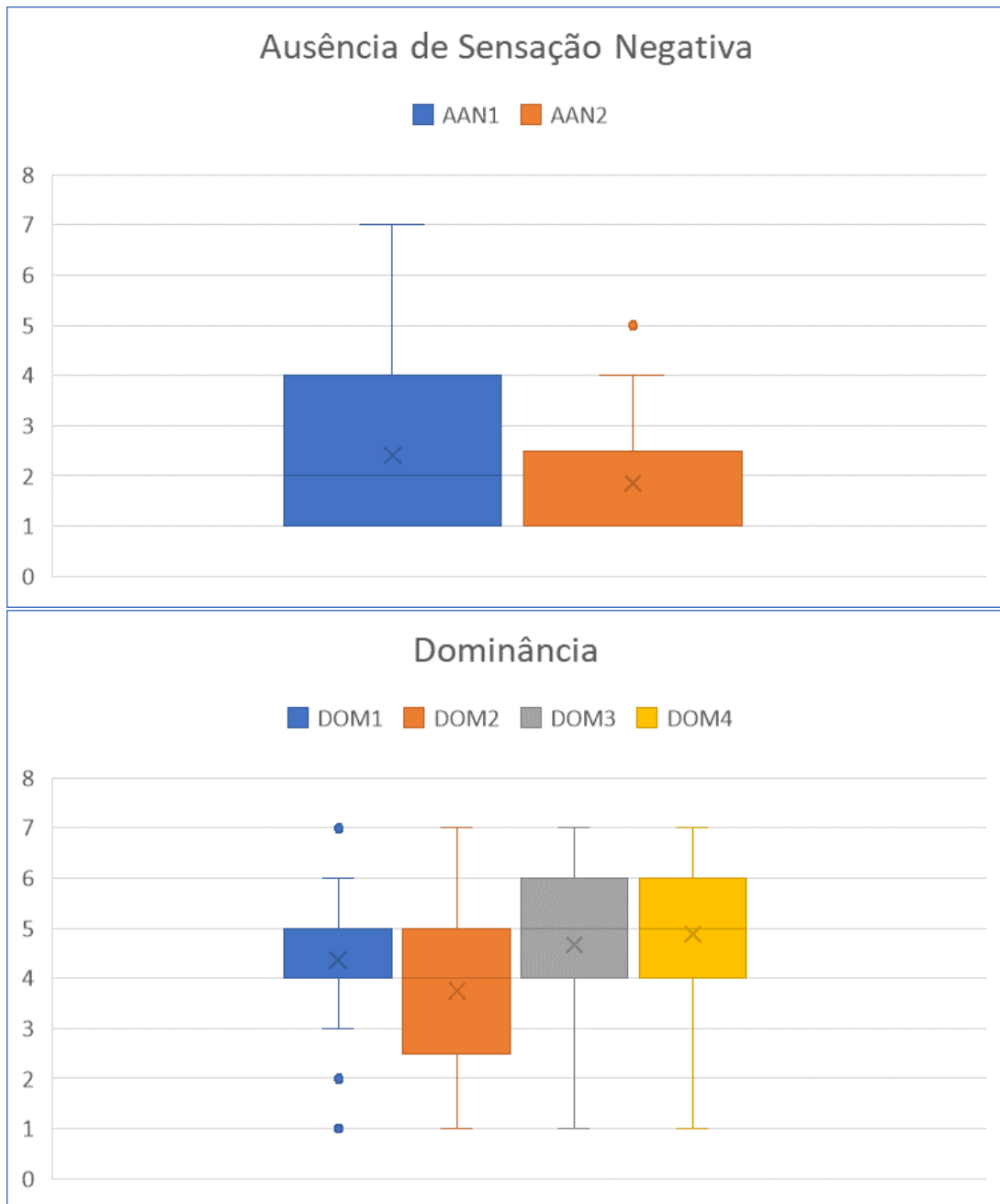




D.2 GAMEX







ANEXO A – TECHNOLOGY ACCEPTANCE MODELING 3 - TAM3

Constructs	Items ^a	
Perceived Usefulness (PU)	PU1	Using the system improves my performance in my job.
	PU2	Using the system in my job increases my productivity.
	PU3	Using the system enhances my effectiveness in my job.
	PU4	I find the system to be useful in my job.
Perceived Ease of Use (PEOU)	PEOU1	My interaction with the system is clear and understandable.
	PEOU2	Interacting with the system does not require a lot of my mental effort.
	PEOU3	I find the system to be easy to use.
	PEOU4	I find it easy to get the system to do what I want it to do.
Computer Self-Efficacy (CSE)	CSE1	I could complete the job using a software package . . .
	CSE2	. . . if there was no one around to tell me what to do as I go.
	CSE3	. . . if I had just the built-in help facility for assistance.
	CSE4	. . . if someone showed me how to do it first.
Perceptions of External Control (PEC)	PEC1	I have control over using the system.
	PEC2	I have the resources necessary to use the system.
	PEC3	Given the resources, opportunities and knowledge it takes to use the system, it would be easy for me to use the system.
	PEC4	The system is not compatible with other systems I use.
Computer Playfulness (CPLAY)	CPLAY1	The following questions ask you how you would characterize yourself when you use computers:
	CPLAY2	. . . spontaneous
	CPLAY3	. . . creative
	CPLAY4	. . . playful
Computer Anxiety (CANX)	CANX1	. . . unoriginal
	CANX2	Computers do not scare me at all.
	CANX3	Working with a computer makes me nervous.
	CANX4	Computers make me feel uncomfortable.
Perceived Enjoyment (ENJ)	ENJ1	Computers make me feel uneasy.
	ENJ2	I find using the system to be enjoyable.
	ENJ3	The actual process of using the system is pleasant.
Objective Usability (OU)		I have fun using the system.
Subjective Norm (SN)		No specific items were used. It was measured as a ratio of time spent by the subject to the time spent by an expert on the same set of tasks.
Voluntariness (VOL)	SN1	People who influence my behavior think that I should use the system.
	SN2	People who are important to me think that I should use the system.
	SN3	The senior management of this business has been helpful in the use of the system.
	SN4	In general, the organization has supported the use of the system.
Image (IMG)	VOL1	My use of the system is voluntary.
	VOL2	My supervisor does not require me to use the system.
	VOL3	Although it might be helpful, using the system is certainly not compulsory in my job.
Job Relevance (REL)	IMG1	People in my organization who use the system have more prestige than those who do not.
	IMG2	People in my organization who use the system have a high profile.
	IMG3	Having the system is a status symbol in my organization.
Output Quality (OUT)	REL1	In my job, usage of the system is important.
	REL2	In my job, usage of the system is relevant.
	REL3	The use of the system is pertinent to my various job-related tasks.
Result Demonstrability (RES)	OUT1	The quality of the output I get from the system is high.
	OUT2	I have no problem with the quality of the system's output.
	OUT3	I rate the results from the system to be excellent.
Behavioral Intention (BI)	RES1	I have no difficulty telling others about the results of using the system.
	RES2	I believe I could communicate to others the consequences of using the system.
	RES3	The results of using the system are apparent to me.
	RES4	I would have difficulty explaining why using the system may or may not be beneficial.
Use (USE)	BI1	Assuming I had access to the system, I intend to use it.
	BI2	Given that I had access to the system, I predict that I would use it.
	BI3	I plan to use the system in the next <n> months.
	USE1	On average, how much time do you spend on the system each day?

^aAll items were measured on a 7-point Likert scale (where 1: *strongly disagree*; 2: *moderately disagree*, 3: *somewhat disagree*, 4: *neutral* (neither disagree nor agree), 5: *somewhat agree*, 6: *moderately agree*, and 7: *strongly agree*), except computer self-efficacy, which was measured using a 10-point Guttman scale.

Fonte:(Venkatesh; Bala, 2008).

ANEXO B – GAMEFUL EXPERIENCE - GAMEX

GAMEX (English version)	GAMEX (German version)	
<i>Enjoyment</i>		
Enj1	Playing the game was fun.	Das Spiel zu spielen machte Spaß.
Enj2	I liked playing the game.	Ich mochte das Spielen.
Enj3	I enjoyed playing the game very much.	Das Spiel zu spielen habe ich sehr genossen.
Enj4	My game experience was pleasurable.	Die Spielerfahrung war angenehm.
Enj5	I think playing the game is very entertaining.	Ich finde das Spiel sehr unterhaltsam.
Enj6	I would play this game for its own sake, not only when being asked to.	Ich würde das Spiel auch spielen, wenn ich dafür keine Belohnung erhalten würde.
<i>Absorption</i>		
Ab1	Playing the game made me forget where I am.	Das Spiel zu spielen ließ mich vergessen, wo ich bin.
Ab2	I forgot about my immediate surroundings while I played the game.	Ich vergaß mein unmittelbares Umfeld während ich spielte.
Ab3	After playing the game, I felt like coming back to the “real world” after a journey.	Nachdem ich das Spiel gespielt hatte, fühlte ich mich, als wenn ich nach einer Reise zurück in die “reale Welt” komme.
Ab4	Playing the game “got me away from it all.”	Das Spiel zu spielen ließ mich allem entfliehen.
Ab5	While playing the game I was completely oblivious to everything around me.	Ich war während des Spielens völlig selbstvergessen.
Ab6	While playing the game I lost track of time.	Ich habe während des Spielens gar nicht bemerkt, wie die Zeit vergeht.
<i>Creative thinking</i>		
CT1	Playing the game sparked my imagination.	Das Spielen regte meine Fantasie an.
CT2	While playing the game I felt creative.	Während des Spielens fühlte ich mich kreativ.
CT3	While playing the game I felt that I could explore things.	Während des Spielens fühlte ich, dass ich Dinge erkunden konnte.
CT4	While playing the game I felt adventurous.	Während des Spielens fühlte ich mich abenteuerlustig.
<i>Activation</i>		
Act1	While playing the game I felt activated.	Während des Spielens fühlte ich mich erregt.
Act2	While playing the game I felt jittery.	Während des Spielens fühlte ich mich kribbelig.
Act3	While playing the game I felt frenzied.	Während des Spielens fühlte ich mich wild.
Act4	While playing the game I felt excited.	Während des Spielens fühlte ich mich aufgeregt.
<i>Absence of negative affect</i>		
ANA1 ^a	While playing the game I felt upset.	Während des Spielens fühlte ich mich verärgert.
ANA2 ^a	While playing the game I felt hostile.	Während des Spielens fühlte ich mich feindselig.
ANA3 ^a	While playing the game I felt frustrated.	Während des Spielens fühlte ich mich frustriert.
<i>Dominance</i>		
Dom1 ^b	While playing the game I felt dominant/I had the feeling of being in charge.	Während des Spielens fühlte ich mich dominant/bestimmend.
Dom2	While playing the game I felt influential.	Während des Spielens fühlte ich mich einflussreich.
Dom3	While playing the game I felt autonomous.	Während des Spielens fühlte ich mich selbstständig.
Dom4 ^c	While playing the game I felt confident.	Während des Spielens fühlte ich mich souverän.

^a Reverse coded item.

^b Item wording “I felt dominant” replaced by “I had the feeling of being in charge” as a result of expert feedback from Study 3a.

^c Additional item included as the result of expert feedback from Study 3a.

Fonte:(Eppmann *et al.*, 2018).