

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
UNIDADE DE PÓS-GRADUAÇÃO, EXTENSÃO E PESQUISA
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E TECNOLOGIA EM SISTEMAS PRODUTIVOS

MAYARA NEVES POHLMANN

REALIDADE AUMENTADA APLICADA A TREINAMENTO E AGILIDADE DE SET UP EM
CENTRO DE USINAGEM

São Paulo

Junho/2022

MAYARA NEVES POHLMANN

REALIDADE AUMENTADA APLICADA A TREINAMENTO E AGILIDADE DE SET UP EM
CENTRO DE USINAGEM

Dissertação apresentada como exigência parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, no Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos, sob a orientação do Prof. Dr. Alexandre Formigoni.

São Paulo

Junho/2022

FICHA ELABORADA PELA BIBLIOTECA NELSON ALVES VIANA

FATEC-SP / CPS CRB8-8390

P748r Pohlmann, Mayara Neves
Realidade aumentada aplicada a treinamento e agilidade de set
up em centro de usinagem / Mayara Neves Pohlmann. – São Paulo:
CPS, 2022.
76 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Formigoni
Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em
Sistemas Produtivos) – Centro Estadual de Educação Tecnológica
Paula Souza, 2022.

1. Realidade aumentada. 2. Indústria 4.0. 3. Centro de usinagem.
4. Set up. 5. Inovação de processos e desenvolvimento de produtos.
I. Formigoni, Alexandre. II. Centro Estadual de Educação
Tecnológica Paula Souza. III. Título.

MAYARA NEVES POHLMANN

REALIDADE AUMENTADA APLICADA A TREINAMENTO E AGILIDADE DE SET UP EM
CENTRO DE USINAGEM

Prof. Dr. Alexandre Formigoni

Orientador – CEETEPS

Prof. Dr. Adriano José Sorbille de Souza

Examinador Externo – UNIFATEA

Prof. Dr. Rosinei Batista Ribeiro

Examinador Interno - CEETEPS

São Paulo, 28 de junho de 2022

Ao meu Deus, Nossa Senhora, meus pais e familiares, meu orientador e todos os professores que sempre me ajudaram, meu grupo de pesquisa, amigos e ao meu saudoso vô Hugo.

AGRADECIMENTOS

Não tenho como começar a expressar minha gratidão sem citar o meu amado Deus que me permitiu chegar até este momento, mesmo diante de todas as dificuldades existentes ao longo desse período de estudo. Junto a ele, devo citar também a dedicação que minha mãe do céu teve comigo, me protegendo de todo mal e sendo a melhor intercessora que eu poderia ter.

Aos meus pais que depuseram suas confianças em mim e compreenderam a escolha que fiz, mesmo sabendo que isso envolveria uma dedicação tão intensa aos meus estudos, conciliando este mestrado e minha segunda graduação.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Alexandre Formigoni, pelo voto de confiança que me deu desde o dia da minha entrevista final no processo seletivo. Devo ainda agradecê-lo também pelo apoio incondicional e motivação que dia após dia me oferecia, com toda paciência e sempre torcendo para que eu consiga alcançar meu objetivo de me tornar uma professora universitária. Obrigada por todas as conversas e conselhos que tanto aprendizado me trouxeram, você sempre será um exemplo para mim.

Ao meu grupo de pesquisa que tanto suporte me deu para que eu conseguisse executar esse projeto. Ao Miller Oliveira Ramos que trouxe o olhar de um operador para mim e me deu todo suporte com os testes e conversas com o chão de fábrica. Rafael Lima Duaibes e Vitor Hugo Chioda Pasquali que trouxeram todos seus conhecimentos em tecnologia. Marco Aurélio Feriotti com sua experiência de fábrica e nos fornecendo visitas importantes. Todos vocês meninos foram de extrema importância para que tudo fosse realizado, fomos uma equipe de sucesso, mesmo com tantos percalços pelo caminho, e quero que saibam que sem vocês esse projeto não existiria. Muito obrigada por toda dedicação de vocês que foram fundamentais em todas as etapas.

Aos meus companheiros de orientador: Izolina Margarida de Souza, Vitor Marcelo Halcsik e Ronald de Freitas Oliveira. Cada um de vocês foram fundamentais para que conseguíssemos aumentar nossa produção científica e dessa forma fosse possível concluirmos nosso mestrado. Em especial gostaria de ressaltar a participação do Ronald que organizou visitas para que eu pudesse realizar testes do aplicativo e ao Vitor que realizou testes com sugestões que foram muito importantes.

Aos meus colegas da graduação na Fatec de Guarulhos e do mestrado por toda ajuda ao longo da realização das disciplinas tornando possível a conciliação entre essas duas formações importantes para mim, realizando-as ao mesmo tempo.

Um agradecimento especial a cada um dos meus professores do mestrado e de toda a minha trajetória até aqui, desde os meus professores dos colégios Mater Amabilis e Júlio Mesquita, passando pelos do Anglo de Guarulhos, da minha primeira graduação na USP de Lorena e da minha segunda graduação na FATEC Guarulhos. Foi nesta última instituição, inclusive, que com uma conversa com meu coordenador José Martino Neto despertei meu interesse em seguir na carreira acadêmica, sendo assim sou muito grata por todas as conversas, conselhos e apoio que dele recebi.

Familiares e amigos, gratidão também a vocês que por muitas vezes tiveram paciência e compreensão com algumas ausências minhas. Obrigada por existirem e tornarem esse sonho possível.

E por último e não menos importante, Nina, Duda e Dídi, muito obrigada por existirem e serem verdadeiros remédios com suas doses de carinho e animação ao longo desse período do mestrado.

Deus foi muito bom comigo e me prova o tempo todo que está ao meu lado em todos os momentos. “Confia no Senhor” é uma frase que levo para a vida e depois desse projeto afirmo com mais certeza de que o caminho tem que ser sempre depositando nossa confiança nele.

Uma frase atribuída à Yoko Ono diz: “Um sonho sonhado sozinho é um sonho. Um sonho sonhado junto é realidade”. Eis a minha realidade graças a todos esses que estiveram presentes nesse agradecimento. Que venham novos sonhos e que sempre a gratidão esteja em meu coração!

Tente mover o mundo – o primeiro passo será
mover a si mesmo.

(Platão)

RESUMO

POHLMANN, M. N. **Realidade aumentada aplicada a treinamento e agilidade de set up em centro de usinagem**. 76 f. Dissertação de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2022.

Motivado pela necessidade presente em processos produtivos de buscar ao máximo a redução do tempo de execução de atividades, o presente trabalho dispõe-se a implementar a tecnologia da realidade aumentada em uma máquina de uma fabricante de linhas de envase para indústria de bebidas. Considerando o ponto de vista de um experiente operador que atua em uma máquina ferramenta, essa tecnologia, considerada um dos pilares da indústria 4.0, passa então a ser explorada de maneira que outros operadores também possam atuar nesta máquina com eficiência e qualidade, mesmo com inexperiência. Para tal implementação, o cenário escolhido foi da atividade de *set up* em um centro de usinagem. Dessa forma estipulou-se como objetivo geral deste trabalho o desenvolvimento de um aplicativo de realidade aumentada para treinar operadores para realizar *set up* em um centro de usinagem e como objetivos específicos determinou-se: diminuir o tempo para a execução do *set up*; aumentar a qualidade do trabalho executado com a redução de falhas nessa atividade e fomentar o uso da tecnologia da realidade aumentada na produção industrial. A metodologia usada foi a *Design Science Research*, pois a mesma utiliza-se do desenvolvimento de um protótipo ou artefato para a resolução dos problemas pesquisados, adequando-se assim ao objetivo deste trabalho. Como resultado principal está a criação do aplicativo app-setup que fez uso da realidade aumentada para fornecer informações importantes para a execução do *set up* do centro de usinagem que foi escolhido para ser objeto do estudo em questão. O aplicativo teve como foco a utilização em smartphones com sistema operacional Android e foi submetido à avaliação de operadores com diferentes níveis de experiência na atividade com o intuito de verificar se a questão de pesquisa foi respondida, ou seja, se ele tornou possível o treinamento de novos operadores ou substitutos de maneira satisfatória para a realização do *set up* e se trouxe ganho de agilidade nesta atividade. As avaliações realizadas tiveram como base as Heurísticas de Nielsen (1993) para validação do aplicativo quanto à usabilidade e houve a medição dos tempos gastos na realização do *set up* antes e depois da utilização do aplicativo, permitindo constatar que, além de o aplicativo ter sua eficiência comprovada quanto ao treinamento dos operadores, já que operadores que não sabiam executar determinadas etapas conseguiram executá-las, houve, também, ganho em termos de agilidade do processo com reduções de 19% e 20% nos tempos de execução do *set up* entre os operadores que sabiam realizar todas suas etapas.

Palavras-chave: Realidade aumentada. Indústria 4.0. Centro de usinagem. *Set up*. Inovação de Processos e Desenvolvimento de Produtos.

ABSTRACT

POHLMANN, M. N. **Augmented reality applied to training and setup agility in a machining center.** 68 p. Professional Master's Dissertation in Management and Technology in Productive Systems. Paula Souza State Technological Education Center, São Paulo, 2022.

Motivated by the present need in production processes to seek the maximum reduction of the execution time of activities, the present work intends to implement the augmented reality technology in a machine of a manufacturer of filling lines for the beverage industry. Considering the point of view of an experienced operator who works on a machine tool, this technology, considered one of the pillars of industry 4.0, is then explored so that other operators can also work on this machine with efficiency and quality, even with inexperience. For such implementation, the chosen scenario was the set up activity in a machining center. Thus, the general objective of this work was the development of an augmented reality application to train operators to perform set up in a machining center and as specific objectives it was determined: to reduce the time for the execution of the set up; increase the quality of work performed by reducing failures in this activity and encourage the use of augmented reality technology in industrial production. The methodology used was Design Science Research, because it uses the development of a prototype or artifact to solve the researched problems, thus adapting to the objective of this work. The main result is the creation of the app-setup application that made use of augmented reality to provide important information for the execution of the machining center set up that was chosen to be the object of the study in question. The application focused on use on smartphones with Android operating system and was submitted to the evaluation of operators with different levels of experience in the activity in order to verify if the research question was answered, that is, if it made training possible. of new operators or substitutes in a satisfactory way for the accomplishment of the set up and if it brought agility gain in this activity. The evaluations carried out were based on Nielsen's Heuristics (1993) to validate the application in terms of usability and there was a measurement of the time spent in carrying out the set up before and after using the application, allowing to verify that, in addition to the application having its proven efficiency in terms of operator training, since operators who did not know how to perform certain steps were able to perform them, there was also a gain in terms of process agility with reductions of 19% and 20% in setup execution times among the operators who knew how to carry out all its steps.

Keywords: Augmented reality. Industry 4.0. Machining center. Set up. Process Innovation and Product Development.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1:	Diretrizes da pesquisa <i>Design Science</i>	31
Quadro 2:	Etapas presentes no método DSR	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Campo de aplicação em relação aos tipos de publicações	25
Tabela 2:	Setor industrial em relação aos tipos de publicações.....	26

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Gráfico de previsão de investimento em tecnologias digitais para 2018	18
Figura 2:	Revoluções industriais	22
Figura 3:	Ciclo regulador do <i>Design Science Research</i>	31
Figura 4:	Resumo dos principais conceitos da ciência do design	34
Figura 5:	Curva de evolução do número de publicações sobre RA na indústria por ano	38
Figura 6:	Centro de usinagem objeto do estudo.....	39
Figura 7:	QR code para acionar informações do aplicativo.....	41
Figura 8:	Tela inicial do aplicativo.....	42
Figura 9:	Menu inicial do aplicativo.....	42
Figura 10:	Tela do tutorial das atividades.....	43
Figura 11:	Ferramentas rotineiras.....	46
Figura 12:	Níveis de experiência com o painel do centro de usinagem – operadores e especialista	49
Figura 13:	Respostas questionário de avaliação – rodada1.....	50
Figura 14:	Respostas questionário de avaliação – rodada 2.....	51
Figura 15:	Níveis de experiência com o painel do centro de usinagem – operadores.....	53
Figura 16:	Medição de tempo sem o uso do aplicativo.....	53
Figura 17:	Medição de tempo com o uso do aplicativo	54

LISTA DE SIGLAS

3D	3 Dimensões
ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
APP	Aplicativo
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CNC	Controle Numérico Computadorizado
CPPS	<i>Cyber Physical Production System</i>
CU	Centro de Usinagem
DS	<i>Design Science</i>
DSR	<i>Design Science Research</i>
GE	<i>General Electrics</i>
I4.0	Indústria 4.0
RA	Realidade Aumentada
RV	Realidade Virtual
SDK	<i>Softwares Development Kit</i>
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	18
1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
1.1 Indústria 4.0	21
1.2 Realidade Aumentada	23
<i>1.2.1 Realidade aumentada na indústria</i>	24
1.3 Centros de Usinagem	26
<i>1.3.1 Processos de usinagem</i>	27
1.4 Set up e preparação de máquinas	28
<i>1.4.1 Set up em centros de usinagem</i>	29
<i>1.4.2 Treinamentos para setup em centros de usinagem</i>	30
1.5 Design Science Research	30
1.6 Heurísticas de Nielsen	34
<i>1.6.1 As 10 Heurísticas de Nielsen</i>	34
<i>1.6.2 Questionários de avaliação</i>	36
2 METODOLOGIA	37
2.1 Conscientização do problema	37
2.2 Ideação	38
2.3 Desenvolvimento	38
<i>2.3.1 Capacitação em realidade aumentada</i>	39
<i>2.3.2 Escolha do cenário</i>	39
<i>2.3.3 Escolha do perfil do usuário</i>	40
<i>2.3.4 Formulação do roteiro da atividade escolhida</i>	40
<i>2.3.5 Desenvolvimento do protótipo</i>	41
<i>2.3.6 Definição da avaliação</i>	47
2.4 Demonstração do artefato	48
2.5 Avaliação	48

2.6 Comunicação	48
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
3.1 Validação do aplicativo quanto ao funcionamento	49
3.2 Verificação do desempenho quanto ao tempo gasto	52
CONCLUSÃO	55
REFERÊNCIAS	56
APÊNDICE A	61
APÊNDICE B	64
APÊNDICE C	67
APÊNDICE D	70
APÊNDICE E	76

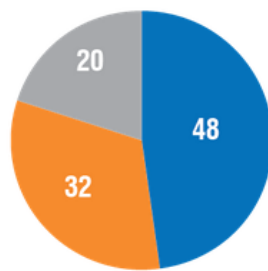
INTRODUÇÃO

Segundo a Confederação Nacional da Indústria – CNI – em pesquisa temática sobre investimentos em indústria 4.0, foi possível observar que, ao longo dos últimos anos, aumentou expressivamente a quantidade de indústrias brasileiras que fazem uso de tecnologias digitais, isto é, que seguem os moldes da Indústria 4.0, ainda que em estágio inicial. No período que vai do começo de 2016 ao de 2018, a porcentagem correspondente às grandes organizações que fazem uso de ao menos uma tecnologia digital, das alternativas mostradas, foi de 63% para 73%. E no ano de 2018 cerca de metade dessas grandes organizações industriais planejava investir nessas tecnologias (CNI, 2018) essas informações estão apontadas na Figura 1 a seguir:

Figura 1: Gráfico de previsão de investimento em tecnologias digitais para 2018.

PREVISÃO DE INVESTIMENTO EM TECNOLOGIAS DIGITAIS PARA 2018

Percentual de respostas do total de empresas respondentes (%)



- Pretende investir em tecnologias digitais*
- Não pretende investir em tecnologias digitais**
- Não sabe/não respondeu

* Pretende investir em pelo menos 1 das 13 opções de tecnologias digitais apresentadas.

** Inclui as empresas que não planejam investir em 2018 e as empresas que planejam investir, mas não em uma das 13 tecnologias digitais apresentadas.

Fonte: CNI, 2018.

Ou seja, a cada ano aumentou-se o movimento de empresas brasileiras em busca da inserção de tecnologias presentes na indústria 4.0.

Ainda segundo a CNI, em um ranking denominado competitividade Brasil, considerando 18 economias globais, a média geral do Brasil aumentou, porém não o suficiente para tirá-lo da penúltima colocação (CNI, 2020). Isto é, considerando que a competitividade é uma preocupação global das empresas, ainda há muito que ser investido no país para melhorar a posição da indústria brasileira em termos de competitividade.

O cenário da pandemia da COVID-19 acentuou ainda mais a crise econômico-financeira que o Brasil vinha passando nos últimos anos, de forma que as indústrias brasileiras aumentaram suas pressões em termos de buscar cada vez mais caminhos para aumentar sua capacidade produtiva, qualidade dos produtos e eliminar desperdícios. Um caminho seguido neste período pandêmico tem sido o crescimento da utilização de tecnologias digitais. A ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (2017)

pressupõe que aderindo ao uso dos pilares da I4.0, o Brasil conseguiria ganhar cerca de 73 bilhões de reais ao ano. Esse ganho poderia ainda aumentar se forem gerados investimentos em infraestrutura, programas de incentivo e linhas de crédito, ou seja, ações para fomentar o uso das tecnologias da I4.0, dentre elas, a realidade aumentada que consiste na combinação do ambiente físico do mundo real com elementos virtuais de maneira que são visualizados por meio de um dispositivo eletrônico.

Nos processos industriais, os equipamentos fabris costumam a realizar paradas para reajustes e trocas de produtos, essas interrupções são conhecidas como *set up* e, entre as atividades existentes nos processos industriais, ele é a que mais gera perdas em termos de produtividade devido às movimentações desnecessárias dos operadores, mudança de lotes ou peças em filas (EVANGELISTA et al., 2017). Há também o pré-ajuste de ferramentas, que é apontado como uma das principais razões para o elevado tempo de *set up* (SHINGO, 2000). Por impactar de tal maneira a produtividade processual, ele torna-se alvo de estudos para seu aperfeiçoamento de maneira que seu tempo de execução seja reduzido ao máximo. Além disso, reduções na produtividade também ocorrem quando um funcionário responsável por determinada atividade deixa de executá-la seja por licenças ou até mesmo por aposentadoria, uma vez que nessas situações os funcionários que passarão a atuar precisam adaptar-se e essa adaptação geralmente envolve treinamentos cujos níveis de eficiência podem não ser satisfatórios. Sendo assim, torna-se viável o estudo de melhorias para o treinamento de funcionários para a execução de *set ups* e, baseado no avanço do uso de tecnologias digitais pela indústria brasileira, uma opção para o aperfeiçoamento dessa atividade seria o uso da tecnologia da realidade aumentada.

Ou seja, tendo em vista esses cenários apresentados, como utilizar a realidade aumentada para treinar operadores em um centro de usinagem visando uma redução do tempo de *set up*? Com o intuito de responder essa questão, o objetivo geral deste trabalho consiste em desenvolver um aplicativo de realidade aumentada para treinar operadores para realizar *set up* em um centro de usinagem e em acréscimo os objetivos específicos apresentam-se como a diminuição do tempo para a execução do *set up*, o aumento da qualidade do trabalho executado com a redução de falhas nessa atividade e a promoção do uso da tecnologia da realidade aumentada na produção industrial.

Para este projeto o método de pesquisa selecionado foi o *Design Science Research* que de modo prático foca no estudo de problemas de natureza prática (HEVNER et al., 2004) cuja finalidade é a criação de soluções para questões do mundo real, gerando dessa maneira novos conhecimentos por meio de seus testes. Sua aplicabilidade é restringida por sua orientação experimental no seu local de estudo, tal qual pelo uso de protótipos ou artefatos, físicos ou abstratos, usados na solução dos problemas estudados.

Ao final os resultados mostraram que, após a avaliação de operadores do setor onde está localizado o centro de usinagem do presente trabalho, com distintos graus de instrução para a execução do seu *set up*, o aplicativo desenvolvido foi capaz de treinar e, dessa forma, tornar aptos à realização

desta atividade operadores recém-contratados e os que eventualmente são selecionados para substituir o operador titular da máquina, por licenças ou aposentadorias. As avaliações que serviram para a validação do aplicativo quanto à usabilidade tiveram como base as Heurísticas de Nielsen, já para a verificação do desempenho dele, em termos de aumento de produtividade, houve a medição dos tempos das etapas do *set up* que mostraram reduções de 19% e 20% nas execuções realizadas pelos operadores com níveis de experiência satisfatório e elevado com o painel da máquina.

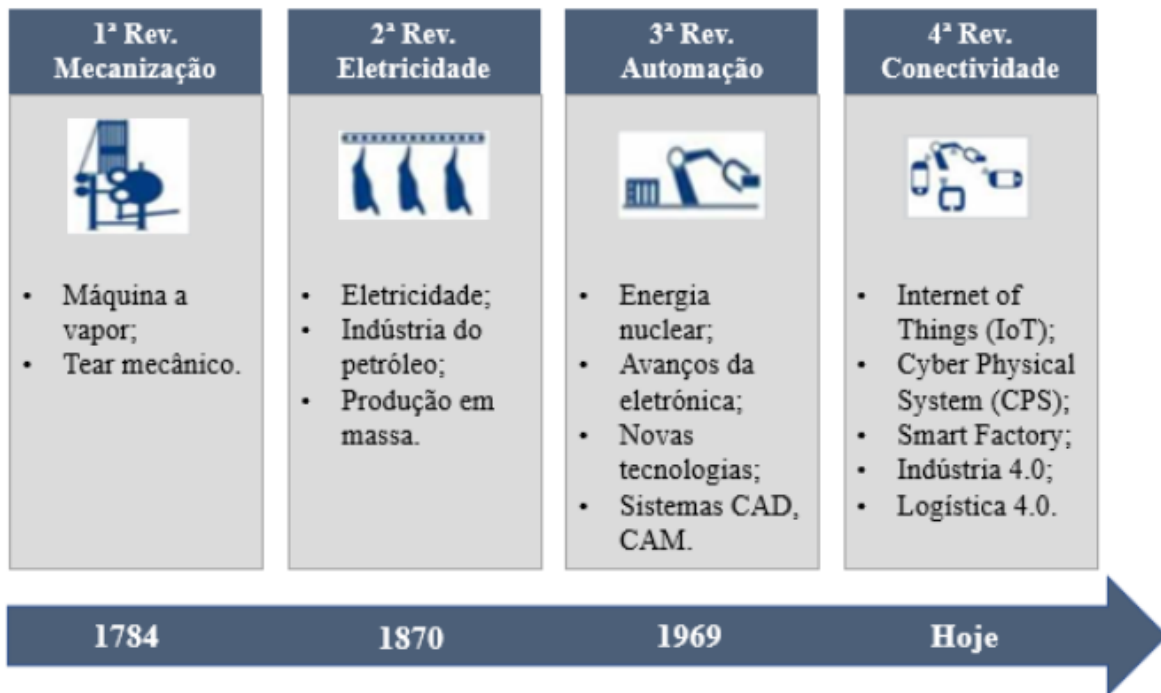
1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Com a finalidade de uma maior compreensão do presente trabalho é necessário que seja apresentada uma explanação a respeito dos principais conceitos envolvidos no estudo realizado. Para tal compreensão, este capítulo visa apresentar um embasamento teórico de modo que está dividido em seis itens: Indústria 4.0, Realidade Aumentada, Centro de usinagem, *Set up*, *Design Science Research* e Heurísticas de Nielsen. Estes foram os itens escolhidos pelo fato de que este estudo abordou um dos pilares da indústria 4.0 que é a realidade aumentada, aplicando-a em um centro de usinagem para aprimorar a atividade do *set up* dentro do processo produtivo deste centro, de maneira que, assim como o *Design Science Research* define, foi criado um artefato, neste caso um aplicativo, que teve como base para a sua avaliação as Heurísticas de Nielsen.

1.1 Indústria 4.0

No final do século XVIII, na Inglaterra ocorreu a primeira revolução industrial e, desde então, ocorrem quebras de paradigmas nos processos industriais conhecidas como revoluções industriais determinando fases que são diferenciadas de acordo com a tecnologia predominante. Ou seja, desde o começo dessa primeira revolução industrial, a indústria de fabricação passa por avanços revolucionários e inovadores (KANG et al., 2016). Esses avanços presentes em cada uma dessas fases podem ser observados na Figura 2 a seguir:

Figura 2: Revoluções industriais.



Fonte: SANTOS et al., 2018.

Tais revoluções também são conhecidas pelo termo indústria acompanhado de numerações, dessa forma, a primeira revolução industrial, por exemplo, ficou também conhecida como indústria 1.0. Essa primeira revolução industrial ficou conhecida pela mecanização dos processos, destacando-se, por exemplo, o tear e a máquina a vapor. A indústria 2.0, por sua vez, foi marcada pela produção em escala e linhas de montagem, a eletricidade e processos movidos à combustão ganharam espaço. No final da década de 1960 surge a indústria 3.0, onde a automação de processos industriais passou a ser mais difundida, com destaque para a robótica, computadores, internet e eletrônicos. Indústria 4.0, Quarta Revolução Industrial, Tecnologias 4.0, ou apenas Transformação Digital da Indústria tornou-se o paradigma da economia global desde que o termo foi apresentado em 2011 na Feira de Hannover (GONZALEZ et al., 2021). Nesta feira, o governo da Alemanha apresentou a indústria 4.0 como uma estrutura emergente marcada pelos processos industriais e logísticos na forma de *Cyber Physical Production System* (CPPS) – sistemas ciber físicos, utilizando intensamente os recursos disponíveis globalmente por meio de uma rede de comunicações e informações visando promover um intercâmbio de informações extensamente automatizada e na qual processos de produção e de negócios são combinados (VAIDYA et al., 2018).

A indústria 4.0 é sustentada por nove pilares tecnológicos: *Big Data* e Análise de Dados, Robôs Autônomos, Simulação, Integração de sistemas horizontais e verticais, A Internet Industrial das Coisas, Segurança Cibernética, Nuvem, Fabricação Aditiva e Realidade Aumentada (RUBMANN et al., 2015).

Nesta transformação digital da indústria, a maneira como nos relacionamos e trabalhamos globalmente está sendo alterada, podemos afirmar que o mundo vive a era da hiperconectividade e da digitalização, que diariamente nos incita a provar coisas que jamais tínhamos experimentado antes. (SCHWAB, 2016). Nas organizações transformações são vividas em grande complexidade, escala e alcance, por causa das novas tecnologias que passaram a serem feitas nas atividades humanas. As dificuldades que serão enfrentadas nesta revolução servirão de fundamento para o crescimento de respostas que abrangem diversos *stakeholders* – as partes interessadas, sejam eles privados ou públicos, acadêmicos ou próprios da sociedade como um todo (SCHWAB, 2016).

1.2 Realidade Aumentada

Em 1968 a realidade aumentada surgiu pela contribuição de Ivan Sutherland que desenvolveu um capacete de visão ótica direta que apresentava rastreamento para visualizar objetos 3D no cenário real (AZUMA, 1997).

Kirner e Siscoutto (2007) afirmam que a realidade aumentada (RA) pode ser definida como o uso de algum dispositivo de tecnologia, em tempo real, visando enriquecer, com elementos virtuais, o ambiente real. Ou ainda como um sistema apto a trazer itens virtuais criados por computador para a realidade, de forma que aparentem estar no mesmo espaço, alinhados, interagindo em tempo real.

Azuma (1997) define a RA como a interação e combinação do ambiente real com elementos virtuais em tempo real, de forma que conteúdos digitais como formas 3D, imagens, sons e vídeos aparecem ao usuário em seu ambiente físico.

A RA pode também ser vista como uma evolução e mudança da tecnologia conhecida como realidade virtual (RV), onde há uma interação do usuário com uma interface gerada por computador em um ambiente tridimensional, de maneira que isso ocorra em tempo real (BARBOSA, 2018).

Esse pilar da indústria 4.0 aparece em diversos tipos de aplicações e projetos como: jogos e entretenimento, aplicações médicas, educação, operação de máquinas e robôs, treinamento militar, ambientes colaborativos, simulações (RODRIGUES, 2009).

Uma das características da RA é a portabilidade, já que sua utilização ocorre mediante a presença do usuário no ambiente onde será executada a atividade e ela fornece suporte ao movimento dos usuários (AZUMA, 1997). Levando em consideração essa portabilidade, foram desenvolvidas certas aplicações de RA para dispositivos móveis e vestíveis tais quais *tablets*, *smartphones* e *smart glasses*.

Os desenvolvimentos nesses tipos de dispositivos têm se tornado mais fáceis de ocorrerem e, com isso, a cada dia a realidade aumentada segue ganhando espaço (BOTTANI; VIGNALI, 2019).

Quanto ao uso da RA em dispositivos como *tablets* e celulares, é importante salientar que fatores como interfaces de várias formas, a limitação da manipulação por conta do uso das mãos, a movimentação do usuário e a tela pequena para a transmitir os menus e conteúdo (KO et al., 2013).

As aplicações de realidade aumentada podem fazer uso de símbolos impressos e marcadores como os *QR codes* – códigos de barras bidimensionais, que permitem que, após o seu rastreamento, as informações de certo sistema apareçam no cenário em que o usuário estiver (RODRIGUES, 2009). Outra possibilidade é que essas aplicações façam uso de recursos que pertençam aos dispositivos móveis ou de sensores (BARBOSA, 2018).

1.2.1 Realidade aumentada na indústria

As utilizações da tecnologia da realidade aumentada têm apresentado uma grande importância estando bastante presente em atividades relacionadas à segurança de processos, manutenção, controle de qualidade e montagem em linhas de produção (DI NARDO et al., 2021). Por isso a RA tem sido bastante aplicada em processos de fabricação (BOTTANI; VIGNALI, 2019).

A atuação da realidade aumentada aparece em diferentes cenários funcionando como uma ferramenta para treinamentos em fábricas, controle da produção à distância e em tempo real, manutenção de máquinas entre outros (BAUMGARTEN, 2019). Isto é, mesmo com seu uso ainda pouco difundido no Brasil, essa ferramenta tende a ser mais utilizada no futuro, para fornecer informações em tempo real aos operadores, de forma que auxilie em tomada de decisões e na melhoria de processos (APARECIDA; RODRIGUES, 2016).

Há cerca de alguns anos atrás até os dias de hoje, a RA tem sido continuamente utilizada por empresas adeptas da inovação industrial, alguns exemplos são a *General Electric* (GE), *Boing* e *Airbus* (SERVÁN et al., 2012). Essa tecnologia foi utilizada voltada ao avanço da qualidade do produto e do processo e teve como objetivo a melhoria da produtividade (HO et al., 2022).

Bottani e Vignali (2019) em seus estudos apresentaram uma revisão sistemática de literatura com uma amostra de 174 artigos científicos a respeito da utilização da RA na indústria e os resultados encontrados apontaram que os principais usos na indústria estavam relacionados às seguintes atividades: montagem, manutenção e treinamentos. Quanto aos setores industriais que apresentaram maior utilização desta tecnologia destacaram-se laboratórios, indústria de transformação e máquinas-

ferramenta (BOTTANI; VIGNALI, 2019). Estes resultados podem ser visualizados nas Tabelas 1 e 2 a seguir:

Tabela 1: Campo de aplicação em relação aos tipos de publicações.

Campo de aplicação	Artigos de Aplicação	Artigos Conceituai	Artigos de Revisão	Artigos Técnico	Total
Montagem	15	6	3	11	35
Manutenção	23	2	2	7	34
Desing de produto	11		2	4	17
Segurança	8		1	5	14
Assitência remota	6	2	1	3	12
Telerobótica/ robótica	1		3	9	13
Ergonomia	1	2	1	3	7
Treinamento/ aprendizagem	13	6	3	7	29
Controle de qualidade	3	1			4
Inspeção ou gerenciamento de instalaç	4				4
Ambiente ao ar livre	1			3	4
Seleção	3			1	4
Diagnóstico	3				3
Prototipagem	1	1		1	3
Informação	1	1	1		3
Navegação	1	1			2
2D/ 3D CAD	1		1		2
Planejamento de layout	1				1
Soldagem	1				1
Simulação de máquinas	1				1
Outros		1		1	2
Não Especificado		4	4	29	37

Fonte: BOTTANI; VIGNALI, 2019.

Tabela 2: Setor industrial em relação aos tipos de publicações.

Setor Industrial	Artigos de Aplicação	Artigos Conceituais	Artigos de Revisão	Artigos Técnicos	Total
Aeroespacial	3				3
Arquitetura, engenharia, construção e operações (AECO)	5	1		5	11
Automotivo	6	2		3	11
Plantas químicas	1				1
Eletrônicos	4	2			6
Indústria alimentícia			1		1
Calçados / roupas	2				2
Laboratórios	23	6	3	49	81
Máquina-ferramenta	7	3		2	12
Manufatura	9	2	3	4	18
Armazenagem	4				4
Nuclear/ geração de energia	4				3
Outras	1	1		1	3
Não específicas	1	3	8	5	17

Fonte: BOTTANI; VIGNALI, 2019.

1.3 Centros de usinagem

Um Centro de Usinagem (CU) pode ser definido como uma máquina que possui um dispositivo de troca das ferramentas de forma automatizada e um Controle Numérico Computadorizado (CNC) e que realiza a gestão da atuação de muitos tipos de operação em apenas um momento, um só processo sem parada. Exemplos tradicionais de centros de usinagem são os processos de mandrilagem e perfuração. Os CUs são usados para produções que ocorrem de maneira seriada de portes pequeno e médio, e mostram que geram economia para componentes produtivos de complexidade, ainda que para menores escalas produtivas (SCHEER, 1993).

Os centros de usinagem simbolizam com exatidão o desenvolvimento da engenharia ao longo dos anos, com foco nas indústrias metalúrgicas. Eles são máquinas que apresentam eficiência acurada destinada a produtos com ligas metálicas como base. Juntando com exatidão os critérios técnicos e definições de automação. Suas principais partes são: Eixo-árvore, Magazine, Acionamento, Servo Motor, Trocador, Fuso e Cabeçote (LEITE et al., 2018).

Questões que a engenharia sempre enxergou como meta estão presentes nos CUs, uma vez que é uma máquina de elevada precisão, de modo que pode praticamente fazer a substituição, somente em alguns traços, de uma linha produtiva, aos moldes antigos, inteira (ROSÁRIO, 2009). Isso se confirma baseando-se no fato de que certos centros de usinagem são capazes de comportar, de uma só vez, 250 ferramentas (LEITE et al., 2018).

Várias são as questões que devem ser consideradas antes da implantação de um centro de usinagem, tais como: o alto custo de maquinário como fresas e tornos CNC e de ferramentas de corte, brocas; o tipo de material que será trabalhado, de maneira que leve em consideração a necessidade do mercado e a viabilidade do custo benefício para a empresa; qualificação da mão de obra; gestão e monitoramento; além das questões ambientais como o correto descarte de resíduos. Há ainda a questão de que ao implantar um CU, é necessário a adoção de padrões e normas de qualidade (SOARES, 2021).

1.3.1 Processo de Usinagem

A usinagem pode ser definida como sendo um meio de fabricação mecânica, o qual realiza uma mudança no formato original das peças até que se alcance o formato desejado. Ela é apta a ser usada tanto por instrumentos manuais quanto por máquinas automatizadas (ALMEIDA, 2015).

O processo de usinagem tem como objetivo gerar forma, dimensão, acabamento ou a junção dessas opções em apenas uma peça gerando cavaco, que é parte de um material de uma peça que sai por meio de uma ferramenta de forma geométrica (FERRARESI, 1977). O mecanismo da usinagem é a retirada de parte de uma peça por meio de outros materiais mais duros e resistentes (MACHADO et al., 2011).

Em termos de importância dentro do processo de usinagem, três variáveis possuem impacto nos resultados e, por isso, se destacam, são elas: a ferramenta de corte, a retirada de cavacos e o material que será usinado. Quando essas variáveis se combinam de maneira mais adequada, o reflexo consiste em usinagens com maior precisão (PINHEIRO, 2014).

A cada dia aumentam-se as chances de alcance de um acabamento com qualidade mesmo em materiais classificados como de usinabilidade complexa, e isso deve-se ao desenvolvimento da tecnologia envolvida nos processos de peças usinadas. Eles podem ser manuais ou automáticos, assim como os que possuem comando numérico computadorizado - CNC (MACHADO et al., 2009).

O CNC é uma ferramenta que possibilita que uma máquina ou processo seja operada de maneira automática através de instruções com códigos contendo símbolos, letras e números. Máquinas com esse tipo de comando conseguem ter uma adaptação facilitada a diferentes cenários em que a produção se encontre (SENAI, 2006).

Nos últimos anos houve um considerável aumento nos investimentos em máquinas ferramentas, principalmente na tecnologia CNC, buscando diminuir os tempos gastos em atividades improdutivas. Inovações em ferramentas tornaram-se necessárias, uma vez que a estrutura fabril e o processo produtivo

na indústria como um todo apresentou melhorias, além disso, foi possível notar o aumento das condições de corte suportado pelo sistema máquina-ferramenta-dispositivo de fixação (CASTANHERA, 2015).

Torneamento e fresamento costumam ser os processos de usinagem mais conhecidos, no entanto, são vários os tipos convencionais além deles, como os seguintes: aplainamento, furação, mandrilhamento, serramento, brochamento, retificação (DE DEUS, 2015). Existem também os processos como o laser, plasma, ultra som, eletrolíticas, fluxo abrasivo, entre outros, que são mais recentes (SANTOS E SALES, 2007).

A usinagem industrial apresenta algumas vantagens e desvantagens, de maneira que Soares (2021) aponta como principais vantagens: consistência nas peças criadas; possibilidade de criar vários formatos de peças; custo acessível; precisão de acabamento; criação de peças em pequenas, médias e grandes quantidades; produções com maior velocidade. Já as principais desvantagens apontadas por Soares (2021) são: perdas de material; desgaste de ferramentas; necessidade de mão de obra especializada; gastos com materiais para refrigeração (óleos refrigerantes).

Diversos elementos, que possuem relação com os tempos de preparo de máquina, influenciam no funcionamento e no desempenho de máquinas-ferramentas CNC. Esses elementos são voltados às técnicas de programação, transferência de programas para os equipamentos, programação, escolha das ferramentas e pré-ajuste ferramental (SIMON; LIMA, 2015).

Uma peça que passa pelo processo de usinagem passa por um ciclo que é diretamente formado por cinco fases, sendo elas: colocação e fixação da peça, aproximação e posicionamento da ferramenta, corte, afastamento da ferramenta e inspeção e retirada da peça. Este ciclo também é formado indiretamente pelas seguintes fases: preparo da máquina, remoção da ferramenta para que seja substituída e recolocação e ajustagem da nova ferramenta (DINIZ et al., 1999). Cada uma dessas fases possui um tempo determinado, sendo que o tempo da preparação da máquina, frequentemente, torna-se alvo de estudos para sua própria redução.

1.4 Set up e preparação de máquinas

Todo o preparo que deve ser realizado antes do início de um conjunto de operações, isto é, cada uma das fases de preparações, parametrizações, montagens, referenciamentos, medições, correções, dentre outras várias operações que ocorrem antes que o processo produtivo comece, é definido como *set up* (TOLEDO et al., 2018).

Uma produção não seriada, sob o ponto de vista de vários gestores de grandes companhias, é considerada o grande desafio para a busca de melhorias. Por conta disso, empresas de usinagem visam constantemente inovar fazendo uso de peças e modelos diversificados e diminuir os tempos de *set up*, sempre atendendo às demandas dos clientes (SHINGO, 2000).

Empresas possuem o objetivo de diminuir o tempo gasto na atividade de setups de máquinas, de forma que esse tempo economizado seja aproveitado com mais produção (HARMON; PETERSON, 1991).

O foco das empresas de usinagem deve ser a diminuição do tempo em que a máquina fica indisponível, sendo assim, é preciso que o setup da máquina aconteça de maneira rápida e precisa. (ARONSON, 2000).

A diminuição do tempo de *set up* é uma ação que costuma a ser tomada pelos gestores de produção por ser uma medida considerada de baixo custo, rápida e fácil. Sua importância consiste em três principais motivos:

1. Reduzindo o tempo de *set up*, é reduzido também o seu custo e, sendo assim, é possibilitada a produção diária da quantidade que realmente faz-se necessária para tal dia, eliminando, dessa forma, o investimento em estoques resultante de elevados lotes;
2. Um *set up* de maior simplicidade e rapidez reduz as chances de serem cometidos erros ao regular instrumentos e ferramentas;
3. Com *set ups* menores as capacidades produtivas das máquinas aumentam; (PEREIRA, 2007).

1.4.1 Set ups em centros de usinagem

Em centros de usinagem há um tempo gasto em demasia na programação CNC realizada pelo operador, além disso ocorrem desperdícios de tempo produtivo devido a fatores como: a ausência de organização das ferramentas; a utilização desmedida do magazine ferramental que resulta em aumento no tempo de *set up*; a ausência de mecanismo técnico, como um tutorial para adaptar o trabalho às possíveis modificações; a ausência de dispositivos fixadores apropriados (ZAGNOLE et al., 2017).

Até quando se considera que qualquer processo de fabricação é realizado pela máquina, os parâmetros de início precisam ser inclusos através do operador do centro de usinagem e ele deverá seguir o script que é predeterminado às peças que serão geradas. Dessa maneira, essa inclusão acaba sendo mais passível de erro, uma vez que é realizada por um humano (LEITE et al., 2018).

1.4.2 Treinamentos para *set ups* em centros de usinagem

A produtividade de uma empresa pode melhorar, assim como a conservação das máquinas quando os operadores que atuam nos centros de usinagem passam por treinamentos e cursos que os capacitam de modo a tornar os *set ups* mais rápidos e executáveis mediante um padrão, de maneira que promova uma usinagem de qualidade (MOURA, 1996).

Um grande desafio para as companhias é a questão da mão de obra qualificada e isso fica ainda mais evidente quando há a contratação de novos colaboradores. Encaixá-los nas atividades de modo que estejam de acordo com as normas, padrões a cultura da empresa é algo fundamental para integrá-los ao grupo. Sendo assim, acaba se tornando indispensável o investimento não só em equipamentos, mas em treinamentos de seus funcionários (MENEGON; ZAMBARDA, 2019). Com base nisso, considerando a importância do *set up* para a produtividade na indústria, uma alternativa a se considerar é, por exemplo, o investimento em treinamentos para *set up* em centros de usinagem.

1.5 *Design Science Research*

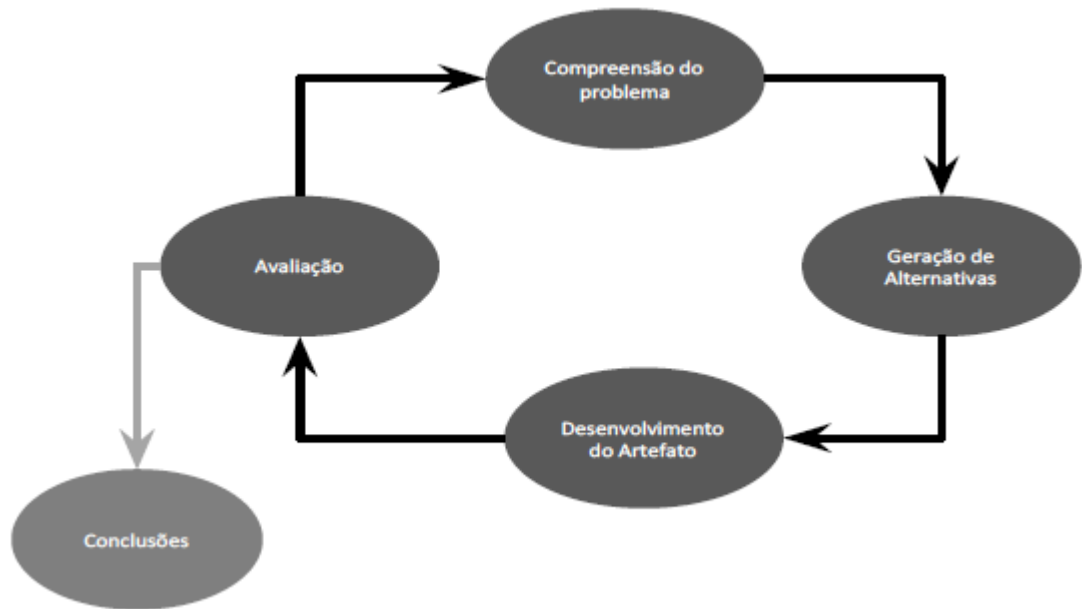
A *Design Science* – ciência do design, é formada pelos procedimentos de elaboração e análise do artefato de finalidade específica – interpreta-se por elaboração o desenvolvimento do artefato e a análise da mensuração relativa ao desempenho do objetivo ao qual é proposto e no ambiente escolhido para seu funcionamento (MARCH; SMITH, 1995). Tudo o que não seja natural, isto é, que seja feito pelo ser humano, recebe a definição de artefato (SIMON, 1996).

Neste método de pesquisa, a responsabilidade de condução da pesquisa é de um problema de natureza prática, partindo deste problema prático, outros surgirão acompanhados de questionamentos a respeito do conhecimento. Estes problemas e questionamentos geram um ciclo que regulamenta as etapas do processo de realização de uma pesquisa em *Design Science* (WIERINGA, 2009).

O ciclo do processo da pesquisa em DS tem início com a compreensão do problema, plenamente ou de maneira parcial. As compreensões que ocorrem de maneira parcial podem acontecer na DS, porque o próprio artefato pode tornar possível o incremento da definição do problema, proporcionando um novo ciclo que gere possibilidades e desenvolva o artefato. Tal ciclo pode ser feito de forma prescritiva, a partir da visão do pesquisador a respeito do problema, ou colaborativa, com participação direta de todos os participantes envolvidos. Na etapa de avaliação ocorrem as conclusões do estudo, que contrapõe a visão de deveria ser a realidade e o que a aplicação, sendo ela real ou simulada, do artefato apresentou ser provável ou possível (DOS SANTOS, 2018).

Este ciclo do processo da pesquisa em *Design Science* está representado a seguir na Figura 3 a seguir:

Figura 3: Ciclo regulador do *Design Science Research*.



Fonte: DOS SANTOS, 2018.

Pesquisas que fazem uso do método DSR devem, em seu desenvolvimento, fazer uso das sete diretrizes que foram criadas partindo do planejamento com destino à execução (DE SORDI; MEIRELES; SANCHES, 2011). Essas diretrizes estão resumidas no Quadro 1 abaixo:

Quadro 1: Diretrizes da pesquisa *Design Science*.

ITEM	DIRETRIZ	DESCRIÇÃO
1	<i>Design como um artefato</i>	O objetivo da pesquisa é construir um artefato prático independente de ser um modelo, um método ou um construto.
2	Relevância do problema	Necessidade de resolução de problemas que impactam a organização.
3	<i>Avaliação do design</i>	A eficiência e a eficácia do artefato devem ser rigorosamente demonstradas por meio de avaliação qualificada.
4	Contribuições à pesquisa	<i>Design Science</i> deve contribuir de forma clara e observável com seus artefatos em seus lócus de estudo ao ampliar os conhecimentos atuais.
5	Rigor da pesquisa	O rigor justifica-se na utilização de métodos rigorosos em todas as fases da pesquisa.
6	<i>Design como um processo de busca</i>	A busca do artefato eficiente e eficaz requer a utilização de recursos disponíveis para atingir os fins desejados, respeitando-se as regulamentações vigentes.
7	Comunicação da pesquisa	Efetuada os resultados da pesquisa realizada por meio da <i>Design Science</i> , deve-se seguir para a solução proposta. A partir dos resultados da pesquisa realizada por meio da <i>Design Science</i> , deve-se efetuar o seguimento da solução que foi orientada.

Fonte: Adaptado de De Sordi, Meireles e Sanches (2011).

Os artefatos então criados são analisados pelas seguintes metodologias científicas: Observação (estudo de caso ou estudo de campo); Analítico (Análise Estática, Análise da Arquitetura, Otimização, Análise Dinâmica); Experimental (Experimento Controlado, Simulação), Testes (Teste Funcional, Teste Estrutural) e, para encerrar, Argumentação (Argumentação e Cenários) (HEVNER et al., 2004).

No método DSR é necessário que haja a presença dos seguintes pontos: uma definição do problema objeto de estudo que esteja apropriada; uma etapa voltada ao desenvolvimento do artefato, levantamento de aspectos e particularidades do artefato; uma etapa onde seja realizado um teste; ajustes de maneira que o artefato torne-se adequado; e outra etapa de avaliação do artefato para verificar se há preocupação com o rigor na pesquisa, além de estar de acordo com o que o problema precisa (LACERDA et al., 2013). No quadro 2, a seguir, é possível observar os pontos levantados pelos pesquisadores em questão:

Quadro 2: Etapas presentes no método DSR.

ETAPA	DESCRIÇÃO
Conscientização do problema	Descrever de forma relevante e ampla o problema de pesquisa, traçando interfaces e relações com o contexto, inclusive externo
Ideação	Desenvolver uma ou mais alternativas de solução (artefatos) para o problema; evidenciar que não existe solução ótima para o problema, e o que está sendo proposto é uma solução satisfatória.
Desenvolvimento	Construir ambiente interno do artefato, algoritmos, modelos gráficos, maquetes, e o próprio artefato em estado funcional; em nível piloto
Demonstração do artefato	Analisar como o artefato se comporta no ambiente para o qual foi projetado, mostrando a relevância teórica e prática
Avaliação	Mostrar todas as etapas da pesquisa, processo de condução, justificativa das escolhas feitas, como avança o conhecimento e melhora dos sistemas organizacionais
Comunicação	Apresentar os resultados para a comunidade (o que foi feito, como foi realizado, implicações da pesquisa)

Fonte: Adaptado de LACERDA et al. (2013).

Os conceitos apresentados por Dresch et al. (2015) como os principais da ciência do design são os que estão apresentados na Figura 4 a seguir:

Figura 4: Resumo dos principais conceitos da ciência do design.

Definição de Ciência do design	• Ciência que busca consolidar o conhecimento sobre o design e desenvolvimento de soluções, melhorar sistemas existentes, resolver problemas e criar novos artefatos.
Artefato	• Algo feito pelo homem; uma interface entre o ambiente interno e o ambiente externo de um determinado sistema
Soluções satisfatórias	• Soluções suficientemente adequadas ao contexto em questão; as soluções devem ser viáveis para a realidade e não necessariamente precisam ser soluções ótimas
Classes de Problemas	• Organização que orienta a trajetória e desenvolvimento do conhecimento em o contexto da Design Science
Validade Pragmática	• Busca garantir a utilidade da solução proposta para o problema; considera: custo/benefício da solução, especificidades do ambiente em que será aplicadas e as reais necessidades dos interessados na solução

Fonte: DRESCH et al. (2015).

1.6 Heurísticas de Nielsen

Sendo proposta por Nielsen (1993), a avaliação heurística surgiu na Engenharia Econômica de Usabilidade, e abrange um pequeno grupo de avaliadores que analisam uma interface, projetada ou não, julgando suas características, em conformidade com seus conhecimentos de usabilidade ou com base em algum roteiro que tenha sido definido previamente (BRAZIL, 2017). A existência da heurística serve para a validação de certas hipóteses como: se a interface está sendo bem utilizada pelos usuários, se o design soluciona verdadeiramente um problema que tenha sido encontrado, e se os procedimentos estão sendo realizados, acertadamente, para solucionar um problema real, gerando um valor agregado para os usuários, por exemplo. Essa validação é realizada por mais de um avaliador (BRAZIL, 2017).

1.6.1 As 10 Heurísticas de Nielsen

Jakob Nielsen faz uso da avaliação heurística, como método de inspeção de usabilidade que não precisa de muito tempo para treinar e avaliar, propondo dez heurísticas para analisar interfaces segundo critérios importantes cujas definições estão intimamente associadas. (BRAZIL, 2017).

Os 10 princípios gerais usados por Nielsen (1993) para design de interação são chamados de heurísticas pois não são diretrizes de usabilidade específicas e sim regras gerais. Essas 10 heurísticas estão listadas a seguir:

1. Visibilidade do status do sistema;

O design deve sempre manter os usuários informados sobre o que está acontecendo, por meio de feedback apropriado dentro de um período de tempo razoável.

2. Correspondência entre o sistema e o mundo real;

O design deve falar a linguagem dos usuários. Use palavras, frases e conceitos familiares ao usuário, em vez de jargão interno. Siga as convenções do mundo real, fazendo com que as informações apareçam em uma ordem natural e lógica.

3. Controle e liberdade do usuário;

Os usuários geralmente executam ações por engano. Eles precisam de uma "saída de emergência" claramente marcada para deixar a ação indesejada sem ter que passar por um processo prolongado.

4. Consistência e padrões;

Os usuários não devem se perguntar se palavras, situações ou ações diferentes significam a mesma coisa. Siga as convenções da plataforma e da indústria.

5. Prevenção de erros;

Boas mensagens de erro são importantes, mas os melhores designs evitam cuidadosamente a ocorrência de problemas. Elimine as condições propensas a erros ou verifique-as e apresente aos usuários uma opção de confirmação antes de se comprometerem com a ação.

6. Reconhecimento em vez de lembrança;

Minimize a carga de memória do usuário tornando visíveis elementos, ações e opções. O usuário não deve ter que lembrar informações de uma parte da interface para outra. As informações necessárias para usar o design (por exemplo, rótulos de campo ou itens de menu) devem ser visíveis ou facilmente recuperáveis quando necessário.

7. Flexibilidade e eficiência de uso;

Atalhos - ocultos de usuários iniciantes - podem acelerar a interação para o usuário experiente, de modo que o design possa atender a usuários inexperientes e experientes. Permita que os usuários personalizem ações frequentes.

8. Design estético e minimalista;

As interfaces não devem conter informações irrelevantes ou raramente necessárias. Cada unidade extra de informação em uma interface compete com as unidades de informação relevantes e diminui sua visibilidade relativa.

9. Ajuda aos usuários para reconhecer, diagnosticar e se recuperar de erros;

As mensagens de erro devem ser expressas em linguagem simples (sem códigos de erro), indicar com precisão o problema e sugerir uma solução de forma construtiva.

10. Ajuda e documentação.

É melhor que o sistema não precise de nenhuma explicação adicional. No entanto, pode ser necessário fornecer documentação para ajudar os usuários a entender como concluir suas tarefas.

A Avaliação Heurística lista, como resultado, problemas de usabilidade localizados na interface, oferecendo sugestões para corrigir os que foram encontrados na interface e não buscando, de fato, corrigi-los. A gravidade do problema é levada em conta pela frequência, persistência e impacto do problema (NIELSEN, 1993).

1.6.2 Questionários de avaliação

Para coletar as opiniões dos usuários, os questionários de avaliação são uma alternativa viável (PREECE et al., 2005), pois, por mais que passem a imagem de um método genérico para se avaliar, eles conseguem identificar importantes informações para os desenvolvedores.

Explorando a avaliação por meio de um questionário, uma grande vantagem é a oportunidade de pedir ao usuário sugestões de melhorias para o sistema, pois elas podem orientar o Design no re-Design da interface. Observa-se ainda a vantagem de que o questionário possibilita a comparação das avaliações de diferentes participantes, uma vez que todos respondem o mesmo conjunto de perguntas. Para elaborar um questionário, diferentes repostas podem ser utilizadas como: escalas de Likert intervalos e escalas de diferencial semântico, por exemplo (BRAZIL, 2017).

2. METODOLOGIA

A Metodologia escolhida para o presente estudo foi o *Design Science Research* (DSR) que, de maneira objetiva, busca focar na investigação de problemas cuja natureza é definida como prática (HEVNER et al., 2004). Este método possui como objetivo a criação de soluções para problemas que ocorrem no cenário real, formando novas percepções através dos testes por ele realizados. A orientação de cunho experimental no seu objeto de estudo torna-se causa para a delimitação da aplicação da DSR, da mesma forma pelo uso de artefatos ou protótipos, sendo eles físicos ou abstratos, usados para solucionar as questões de pesquisa.

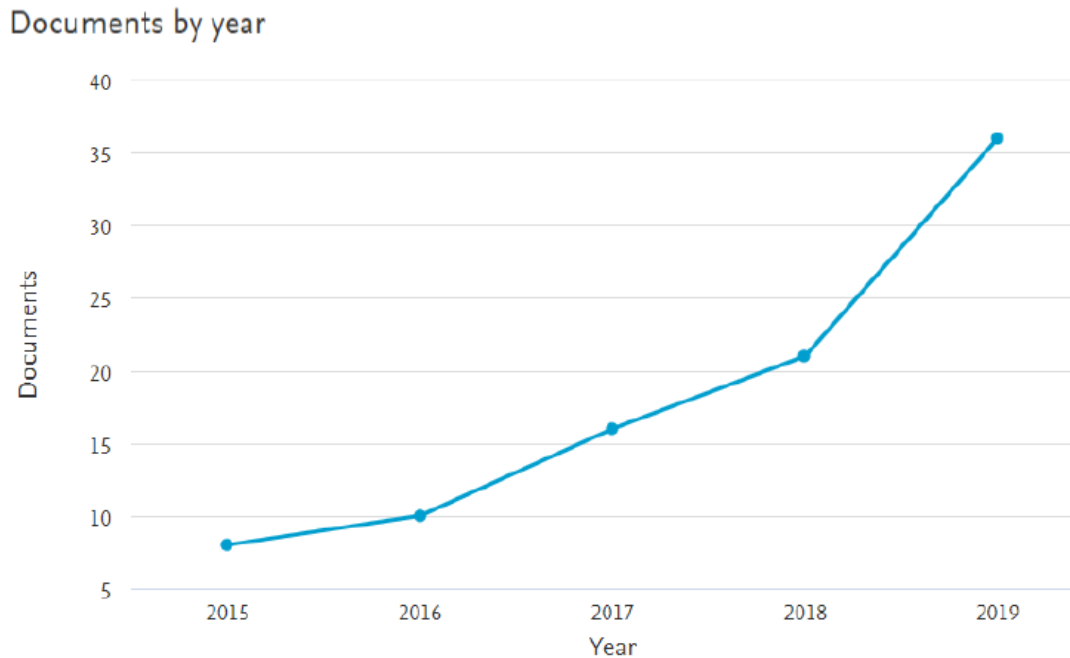
O uso do método de pesquisa *Design Science* é concordante com projetos de pesquisa que gerem um artefato visando promover melhorias no mundo real no atual momento ou futuramente, utilizado em situação de cooperação ou não com os envolvidos, de forma que a efetividade deste artefato em atingir tais melhorias o eixo do estudo (DOS SANTOS, 2018). Por isso este foi o método de pesquisa escolhido para o presente trabalho, uma vez que nele foi criado um aplicativo, que faz uso da tecnologia de realidade aumentada, para treinamento de operadores com a finalidade de executar o *set up* de um centro de usinagem em uma fabricante de linhas de envase para indústria de bebidas.

2.1 Conscientização do problema

Tendo como base essas etapas descritas no Quadro 2 apresentado na fundamentação teórica, pode-se dizer que a conscientização do problema foi realizada com base em uma análise bibliométrica, que, de acordo com Prodanov e Freitas (2013), é um instrumento usado com a finalidade de aproximar o pesquisador do material que já foi escrito sobre o assunto que será abordado em sua pesquisa. A plataforma utilizada para tal análise foi a Scopus, de maneira que foi selecionado como tipo de busca “documentos”, as palavras-chave seriam “*Augmented Reality*” e os campos de busca seriam “Título do artigo, Resumo, Palavras-chave”, retornando um total de 29799 documentos. A partir desses primeiros filtros, definiu-se que deveria ser realizada uma nova pesquisa, dentro da primeira já feita, com os termos “*Industry*” e “*Training*”, retornando 1418 documentos. Seguindo este mesmo procedimento, pesquisou-se o termo foi “*Manufacturing*”, retornando um total de documentos de 646. Posteriormente os anos foram limitados entre os anos de 2015 a 2019, além de definir como tipo de documentos “artigos” e o idioma como inglês, de forma que o resultado foi de 153 artigos. Para finalizar a utilização desses filtros em busca dos artigos que seriam objetos da análise, decidiu-se que fariam parte do estudo apenas os artigos relacionados à área de engenharia, o que trouxe o resultado final de 91 artigos para serem alvos de estudo e embasamento teórico para esta pesquisa.

Com estes 91 artigos, foi possível observar a relevância da utilização da realidade aumentada na indústria, uma vez que o número de artigos publicados ao longo dos anos sofreu uma evolução, conforme o gráfico exibido na Figura 5 a seguir:

Figura 5: Curva de evolução do número de publicações sobre RA na indústria por ano.



Fonte: Autora.

2.2 Ideação

Com as informações encontradas na análise bibliométrica apresentada no item 2.1, acompanhadas de outras que foram levantadas por meio de contato com especialistas em realidade aumentada, ocorreu a etapa de ideação, de maneira que permitiu uma primeira organização de ideias para a criação de um protótipo do aplicativo.

2.3 Desenvolvimento

A fase de desenvolvimento envolveu as seguintes seis etapas: Capacitação em realidade aumentada; escolha do cenário; escolha do perfil de usuário; formulação do roteiro da atividade escolhida; desenvolvimento do protótipo e definição da avaliação.

2.3.1 Capacitação em realidade aumentada

A pesquisadora junto com seu grupo de pesquisa buscou entendimento quanto ao uso da realidade aumentada em aplicativos por meio de vídeo aulas e conversas com profissionais que a fizeram ampliar sua gama de conhecimento a respeito do universo desta tecnologia.

Para o desenvolvimento de um aplicativo de RA é necessário a utilização de alguns softwares como, por exemplo um *game engine* e um *Softwares Development Kit – SDK*.

O conceito de *game engine* pode ser explicado como um programa de computador ou um conjunto de bibliotecas utilizado para facilitar a de criação de jogos eletrônicos e outros tipos de aplicação como realidade aumentada, tornando mais simples a criação dos seus códigos de programação.

O *Softwares Development Kit (SDK)* é um conjunto de ferramentas oferecidas geralmente pelo fornecedor de uma plataforma de hardware, um sistema operacional ou uma linguagem de programação.

2.3.2 Escolha do cenário

Após uma grande dificuldade de conseguir uma empresa que no cenário pandêmico permitisse a realização do estudo, o local escolhido para a realização do projeto foi uma fabricante de linhas de envase para indústria de bebidas, nesta fábrica foi escolhido um centro de usinagem vertical da linha Romi D1250, com as seguintes características: cabeçote de 8000 ou 10000 rpm; cone do eixo-árvore ISO 40; motor principal 22,5 cv; 16,5 kW; magazine para 30 ferramentas; mesa de 1320 x 560mm; CNC Siemens. Tal máquina pode ser representada pela Figura 6 abaixo:

Figura 6: Centro de usinagem objeto do estudo.



Fonte: ROMI (2017).

2.3.3 Escolha do perfil do usuário

Para este projeto, foi selecionado um grupo de cinco operadores para que fizessem parte da análise envolvida neste estudo. Estes cinco operadores possuem diferentes graus de experiência na atuação na máquina objeto de estudo, no entanto o foco do projeto consiste em operadores que são novos na atividade, considerando que possuem o mínimo de conhecimento prévio em usinagem para que estejam aptos a operar o aplicativo. Vale ressaltar que o usuário deve estar ambientado com a utilização de dispositivos touchscreen já que o aplicativo é para utilização em tablets ou smartphones.

2.3.4 Formulação do roteiro da atividade escolhida

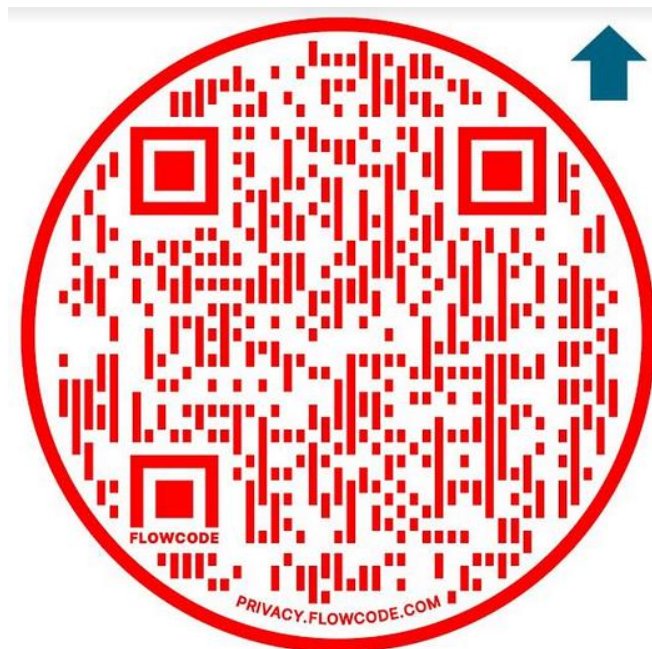
Para a criação do roteiro base para as informações que devem aparecer na tela foram escolhidos dois operadores com elevada experiência para a seleção dos passos que estão envolvidos na atividade escolhida. Esta atividade consiste no setup para uma família de eixos para fazer rasgo de chaveta. Esta atividade foi dividida em quatro partes que fazem parte dela de forma que essa divisão ficou da seguinte

maneira: alimentação das ferramentas (APÊNDICE A); alinhamento das morsas (APÊNDICE B); correção comprimento; tomada da origem (APÊNDICES C e D).

2.3.5 Desenvolvimento do protótipo

O aplicativo foi pensado para ser utilizado em dispositivos móveis que possuam tela e câmera, uma vez que para o acionamento das informações é necessário que seja realizada a leitura de um QR code que deve ser impresso e colocado em baixo da tela de comando da máquina objeto deste estudo. Dessa forma, este aplicativo poderá ser utilizado por smartphones e tablets e estes devem possuir como sistema operacional o Android. O QR code que foi desenvolvido pode ser visto na Figura 7 a seguir:

Figura 7: QR code para acionar informações do aplicativo.



Fonte: Autora.

O protótipo do aplicativo deste projeto foi desenvolvido com o Unity 3D (versão 2021.2.4f1) como game engine, ou seja como um ambiente integrado para o desenvolvimento de software e o Vuforia (versão 10) como SDK, já que é um kit de desenvolvimento de realidade aumentada que possui integração com o Unity. Essa escolha foi feita, pois ambos os programas possuem os recursos que são necessários para o desenvolvimento do aplicativo do projeto, mesmo em suas versões gratuitas.

A programação e o desenvolvimento do aplicativo contaram com o apoio de um colega conhecido pelo grupo de pesquisa ao qual a pesquisadora faz parte.

A linguagem de programação utilizada no projeto foi a C#, como editor de código o software utilizado foi o Microsoft Visual Studio Community 2019.

Com relação ao engine Unity 3D, houve utilização dos seguintes componentes: Camera; GameObjects; Canvas; Buttons; Images; Panels; ScrollView; Scripts; MeshFilter e MeshRender.

Já os componentes do Vuforia que foram utilizados foram: ArCam e ImageTarget.

Como editor de imagens foi utilizado o software Photoshop CS3. Vale ressaltar que as imagens utilizadas no aplicativo possuem os formatos JPG e PNG e resoluções de 256, 512, 1024 e 2048 dpis.

Foram então definidos o nome e o layout do aplicativo, de modo que o nome escolhido foi App setup e o aspecto visual dos elementos da interface podem ser observados nas Figuras 8, 9 e 10 a seguir:

Figura 8: Tela inicial do aplicativo.



Fonte: Autora.

Figura 9: Menu inicial do aplicativo.



Fonte: Autora.

Figura 10: Tela do tutorial das atividades.



Fonte: Autora.

Após a finalização do aplicativo, torna-se fundamental a explicação de cada uma das etapas e funções existentes nele.

Para acessar o aplicativo é necessário que o usuário esteja registrado no sistema, sendo assim, deve ser realizado um cadastro de usuário. Nesse processo, o usuário informa os seguintes dados: nome, e-mail e uma senha. Antes do registro ser efetuado, são verificados se os campos possuem os caracteres de acordo com o estipulado e se as informações são válidas, no caso de estarem em conformidade com o padrão determinado, então é dada continuidade no processo, de modo que os dados informados pelo usuário são enviados ao servidor e salvos no banco de dados. Após esse armazenamento dos dados, o aplicativo retorna a informação de que o cadastro foi realizado com sucesso e assim torna-se permitido o login do usuário.

No aplicativo existe um sistema de autenticação de usuário, que verifica todas as vezes que o usuário tenta logar, de forma a garantir que ele seja utilizado apenas por pessoas autorizadas e de maneira

necessária. Essa autenticação ocorre da seguinte maneira: Quando o usuário realiza uma tentativa de login, é verificado se os campos de e-mail e senha possuem caracteres e se as informações são válidas, em caso de conformidade nessas duas opções, o processo tem prosseguimento e os dados informados pelo usuário são checados com os que existem no servidor, caso os dados correspondam com algum registro do banco, significa que o usuário existe, sendo assim, o aplicativo retorna coma informação de que o login foi feito com sucesso e, assim, é liberado o acesso ao aplicativo pelo usuário.

Quando o login é feito com sucesso, ocorre um redirecionamento do usuário até uma tela de controle de fluxo, onde aparecem as opções “TUTORIAL” ou “CHECKLIST”, de modo que é realizada a escolha para onde ele deseja ir.

Ao clicar na opção “TUTORIAL”, o usuário é levado para outra tela de controle de fluxo, onde ele escolherá o que deseja aprender: “ALIMENTAÇÃO DAS FERRAMENTAS”, “ALINHAMENTO DAS MORSAS”, “CORREÇÃO COMPRIMENTO” ou “TOMADA DA ORIGEM”. Ainda nessa opção “TUTORIAL” é permitido ao usuário seguir pelas opções linearmente ou seguindo por algum dos passos, mesmo que fora de ordem, isso é feito por meio de um menu de acesso rápido. Ou seja, a construção dessa parte, de maneira simples e objetiva, foi realizada de modo que todos os passos são colocados em uma espécie de lista e é criado uma variável de controle do tipo Inteiro (número), que indicará a posição do passo na lista (passou atual ou o que será aberto).

Para o botão “ENTENDI” foi criada uma função seguir que habilita o próximo passo, de maneira que é desabilitado o passo anterior. Nesta função um loop percorre toda a lista desabilitando, primeiramente, todos os passos, em seguida, a função soma um na variável de controle e acessa a lista no índice específico (posição informada pela “variável de controle”) habilitando, e neste ponto o usuário já está no próximo passo.

O menu de acesso rápido permite o acesso a qualquer passo e esse funcionamento é bem semelhante à função seguir porém não soma um na "variável de controle". Quando é executada a função desse menu, ela recebe um valor fixo que fica no botão que a aciona, esse valor corresponde ao passo que vai ser aberto. É, então, criada uma função acesso rápido que habilita o próximo passo desabilitando o anterior, nesta função um loop percorre toda a lista primeiro desabilitando todos os passos, em seguida a função acessa a lista no índice específico (posição informado pela “variável de controle”) habilitando, e neste ponto o usuário acessa o próximo passo.

Ao clicar na opção “CHECKLIST”, o usuário pode seguir e retornar de forma linear passo a passo, ou pode saltar para qualquer passo, através de um menu de acesso rápido. Nesta opção há uma verificação dos EPIs que são obrigatórios ao usuário que fará o setup do centro de usinagem, além disso são checadas as seguintes informações: se foi verificado qual modelo de eixo que será usinado; se o cadastro do eixo do dia foi feito, se as ferramentas que sempre costumam ser usadas na usinagem do

eixo estão presente (broca Tmax 0.12 mm, fresa topo 0.12 mm e escareador); se as ferramentas estão no posto de trabalho; se foram retiradas no almoxarifado; qual posição está livre no TAF; se as informações sobre fixação foram mostradas; se elementos de fixação das morsas foram pegos; se a limpeza da morsa foi executada; se a limpeza da mesa foi executada; se as morsas foram fixadas; se as morsas estão alinhadas; se o eixo foi colocado nas morsas; se a posição do eixo foi verificada; se cada morsa foi apertada; se foi realizada a conferência do correto aperto das morsas; se foi iniciado o processo de zeramento do eixo X; se foi iniciado o processo de zeramento do eixo Y; se foi iniciado o processo de zeramento do eixo Z ; se os parâmetros foram ajustados.

Ainda na opção “CHECKLIST”, o usuário consegue visualizar as imagens da broca Tmax, do escareador e da fresa, conforme a Figura 11 a seguir:

Figura 11: Ferramentas rotineiras.



Fonte: Autora

O funcionamento da opção “CHECKLIST” é idêntico ao da opção “TUTORIAL”. Usando um vocabulário simples, a explicação desse funcionamento é a seguinte: foi construído de forma que todos

os passos são colocados em uma lista, e é criada uma variável de controle do tipo Inteiro(número), que indicará a posição do passo na lista (passo atual ou o passo que será aberto). Para o botão “ENTENDI” foi criada uma função seguir que habilita o próximo passo desabilitando o anterior, nesta função um loop percorre toda a lista primeiro desabilitando todos os passos, em seguida a função soma um na “variável de controle” e acessar a lista no índice específico (posição informado pela “variável de controle”) habilitando, e neste ponto o usuário já está no próximo passo.

O menu de acesso rápido permite acessar qualquer passo e seu funcionamento é explicado da seguinte maneira: a função é de “Seguir para o próximo passo”, porém não soma um na "variável de controle" quando é executada, ela recebe um valor fixo que fica no botão que a aciona, esse valor corresponde ao passo que vai ser aberto. É criada, então, uma função acesso rápido que habilita o próximo passo desabilitando o anterior, nesta função um loop percorre toda a lista primeiro desabilitando todos os passos, em seguida a função acessa a lista no índice específico (posição informado pela “variável de controle”) habilitando, e neste ponto o usuário acessa o próximo passo.

Tanto na opção “TUTORIAL” quanto na opção “CHECKLIST”, o menu rápido pode ser habilitado e desabilitado pelo usuário em qualquer momento, sobrepondo tudo o que há na tela.

2.3.6 Definição da avaliação

Com a finalização do protótipo tornou-se necessária a criação de uma avaliação (APÊNDICE E) que permita comparar as etapas do processo da maneira como são realizadas hoje e da forma como serão realizadas após a utilização do aplicativo App Setup.

Essa avaliação permitiu a realização de comentários nas questões relacionadas ao preparo do eixo e aos ajustes de parâmetros. E a classificação de itens relacionados à atividade realizada pelo método tradicional e ao funcionamento do aplicativo, de modo que esses itens podem ser classificados como: “muito bom”, “satisfatório”, “regular” e “ruim”.

Ao avaliar o aplicativo torna-se possível validá-lo de acordo com seu funcionamento e verificar o seu desempenho, de modo que os tempos calculados mostrem se houve ou não redução do tempo gasto no setup deste centro de usinagem, ou seja, se houve ou não aumento de produtividade no processo.

2.4 Demonstração do artefato

Já na fase de demonstração do artefato foi realizado um teste em seu ambiente de utilização, a fim de verificar se as necessidades do usuário do aplicativo foram atendidas e foi demonstrada a relevância do projeto, mostrando ao operador e ao gestor, envolvidos na atividade do setup, a relevância do projeto. Ainda nesta fase, as limitações foram observadas e sugestões, advindas do operador da máquina e de alguns especialistas, foram anotadas de maneira que correções fossem feitas e a avaliação pudesse ocorrer com um maior rigor.

2.5 Avaliação

Quanto à fase de avaliação, houve a execução da avaliação relacionada à validação do aplicativo por meio de um questionário de avaliação baseado nas Heurísticas de Nielsen, com a finalidade de mostrar se ele estava funcionando e se estava apto a oferecer o treinamento aos operadores que realizavam o *set up* do centro de usinagem objeto deste estudo. Quanto à avaliação do desempenho do app, foram medidos os tempos gastos nas etapas do *set up* de modo a comprovar se houve ou não ganhos em termos de produtividade para esta atividade, ou seja, se houve ou não redução do tempo do *set up*.

2.6 Comunicação

Na etapa de comunicação os resultados foram apresentados aos operadores e ao gestor responsável pelo processo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Objetivando uma maior rigorosidade do projeto, a avaliação foi realizada duas vezes, tanto para a validação do aplicativo em quanto ao funcionamento, quanto para a verificação do desempenho quanto ao tempo gasto.

3.1 Validação do aplicativo quanto ao funcionamento

Para a validação do aplicativo quanto ao funcionamento, foi aplicado um questionário de avaliação, baseado nas heurísticas de Nielsen, neste questionário haviam os seguintes tópicos: Visualização da tela; Funcionamento do sistema; Velocidade de troca da tela; Nível de interação com o usuário; Nível de compreensão do usuário; App atende às dúvidas do usuário; App auxilia o treinamento do usuário inexperiente; Adaptação do usuário ao App; Satisfação do Usuário com relação ao App. (APÊNDICE E).

Estes tópicos foram respondidos com uma escala do tipo Likert, que é constituída por questões que são respondidas de maneira que a pessoa deve concordar ou não mostrando o grau de intensidade de suas respostas (CUNHA, 2007; ALEXANDRE et al., 2003). Essa escala parece com a escala de Thurstone, entretanto, Likert apresenta o grau de intensidade em suas respostas (OLIVEIRA, 2001). Originalmente, esse tipo de escala constitui-se de cinco pontos, contudo, com o passar do tempo, os pesquisadores alteraram o número de pontos usados em seus questionários e seguiram denominando como do tipo Likert (SILVA JUNIOR; COSTA, 2014).

Para responder esse questionário foram entrevistados 4 operadores com diferentes níveis de experiência com o painel do centro de usinagem objeto deste estudo e um especialista em centros de usinagem. Esse nível de experiência é apresentado por uma escala do tipo Likert conforme a Figura 12 a seguir:

Figura 12: Níveis de experiência com o painel do centro de usinagem – operadores e especialista.

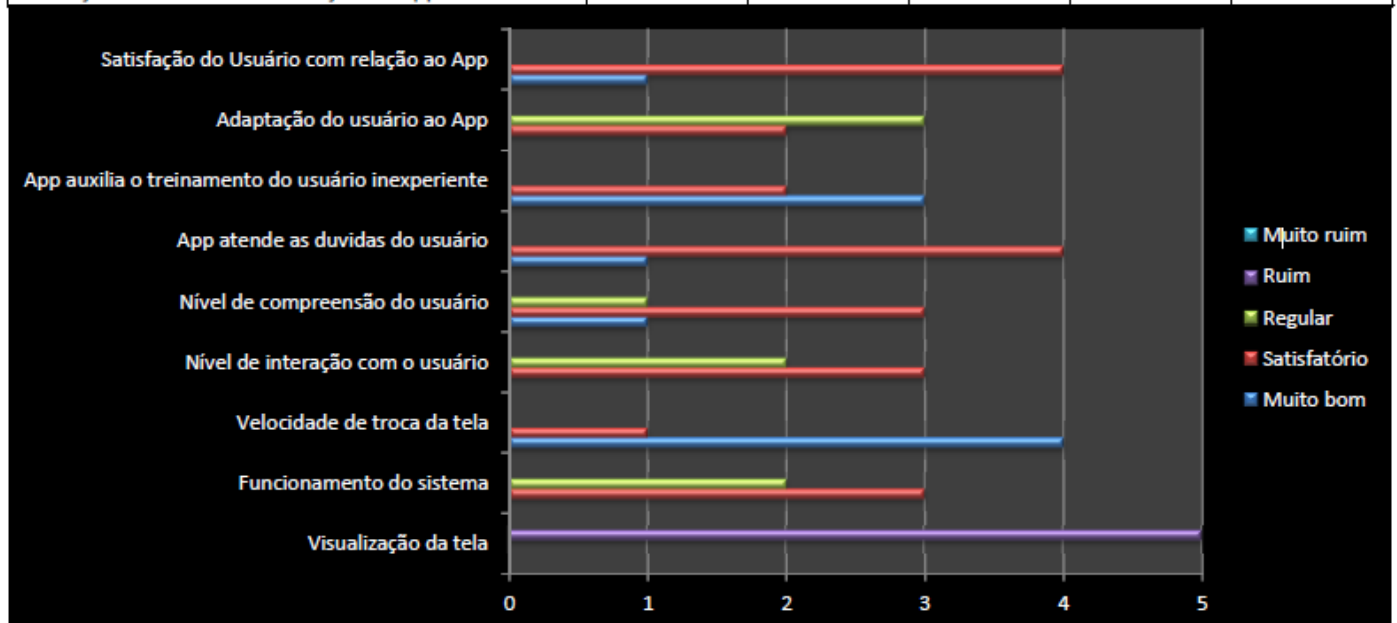
	NIVEL DE EXPERIENCIA COM O PAINEL DA MÁQUINA				
	Nenhuma	Pouca	Razoável	Satisfatória	Muita
OPERADOR A					
OPERADOR B (APRENDIZ)					
OPERADOR C					
OPERADOR D					
ESPECIALISTA					

Fonte: Autora

As respostas obtidas no questionário de avaliação aplicado aos cinco entrevistados estão apresentadas na Figura 13 a seguir:

Figura 13: Respostas questionário de avaliação – rodada 1.

	Muito bom	Satisfatório	Regular	Ruim	Muito ruim
Visualização da tela				5	
Funcionamento do sistema		3	2		
Velocidade de troca da tela	4	1			
Nível de interação com o usuário		3	2		
Nível de compreensão do usuário	1	3	1		
App atende as duvidas do usuário	1	4			
App auxilia o treinamento do usuário inexperiente	3	2			
Adaptação do usuário ao App		2	3		
Satisfação do Usuário com relação ao App	1	4			



Fonte: Autora

A coleta destes dados permitiu inferir as seguintes informações: a imagem estava apresentando uma dimensão maior que a dimensão da tela e estavam ocorrendo problemas com leitura do *QR code*. Além disso, foram sugeridas melhorias nas informações na opção “CHECKLIST” e na opção “TUTORIAL”.

A visualização da tela foi bastante criticada, devido a um erro na programação do aplicativo, que fez com que fosse prejudicado o dimensionamento da imagem das informações que aparecem na

tela, pois aparecia em uma escala distorcida, de modo que era preciso que o operador se afastasse muito do centro de usinagem para conseguir visualizar as informações.

Com estes dados, foram feitas as correções no dimensionamento das imagens apresentadas na tela e do *QR code* a fim de solucionar os problemas encontrados. Foram também alterados o check list de limpeza e o tutorial do aplicativo, visando atender às solicitações dos operadores e do especialista.

A partir destas correções, foi realizada uma nova rodada de entrevistas com os mesmos entrevistados anteriormente e utilizando o mesmo questionário de avaliação. Dessa vez os resultados obtidos foram os observados na Figura 14 a seguir:

Figura 14: Respostas questionário de avaliação – rodada 2.

Fonte: Autora



Com a obtenção destes novos dados coletados foi possível obter as informações a seguir:

Antes da implementação do aplicativo, todos os entrevistados observaram a execução do preparo. Outra questão que apresentou unanimidade nas respostas foi da etapa que demandou maior

dificuldade, onde todos concordaram que foi a etapa de tomada de origem. Apenas o operador que atua na máquina objeto do estudo que avaliou como “muito bom” o item compreensão do usuário com relação ao comando da máquina e o item satisfação do usuário com relação ao método tradicional. Essas respostas permaneceram, mesmo após as alterações realizadas ao finalizar a primeira rodada de aplicação do questionário de avaliação.

Da primeira para a segunda rodada de aplicação do questionário de avaliação o item que possuiu a maior variação foram os itens que dizem respeito ao funcionamento do aplicativo quanto à visualização e ao funcionamento do sistema. No entanto, isso deve-se ao fato de que antes da primeira rodada de aplicação do questionário de avaliação houve um erro na programação do aplicativo que prejudicou o dimensionamento das imagens que apareciam trazendo informações.

Após a segunda rodada de aplicação do questionário de avaliação, o resultado que possuiu grande importância para o projeto foram os seguintes itens: nível de compreensão do usuário; app atende as dúvidas do usuário; app auxilia no treinamento do usuário inexperiente; adaptação do usuário ao app e satisfação do usuário com relação ao app. Em todos esses itens os usuários que possuíam menor experiência, quanto à atuação em *set ups* do centro de usinagem objeto deste estudo, apresentaram, mudança nas respostas partindo de “regular” e “muito ruim” para “muito bom” e “satisfatório”. Sendo assim, torna-se possível afirmar que o aplicativo é apto para realizar o treinamento de novos funcionários, uma vez que funcionários com menor experiência aumentaram seus níveis de compreensão após o uso da realidade aumentada utilizada no aplicativo.

3.2 Verificação do desempenho quanto ao tempo gasto

Almejando verificar o desempenho do aplicativo quanto ao tempo gasto foi cronometrado o tempo gasto em cada uma das etapas apresentadas na opção “TUTORIAL”: “ALIMENTAÇÃO DAS FERRAMENTAS”, “ALINHAMENTO DAS MORSAS”, “CORREÇÃO COMPRIMENTO” e “TOMADA DA ORIGEM”.

Para a coleta dos dados de tempo, participaram destes testes apenas os operadores do setor onde fica o centro de usinagem objeto deste estudo. Sendo assim, seus níveis de experiência são apresentados por uma escala do tipo Likert conforme a Figura 15 a seguir:

Figura 15: Níveis de experiência com o painel do centro de usinagem – operadores.

	NÍVEL DE EXPERIÊNCIA COM O PAINEL DA MÁQUINA				
	Nenhuma	Pouca	Razoável	Satisfatória	Muita
OPERADOR A					
OPERADOR B (APRENDIZ)					
OPERADOR C					
OPERADOR D					

Fonte: Autora

As primeiras medições de tempo foram realizadas sem a utilização do aplicativo, sendo assim, o operador que possuía nível razoável de experiência com o painel da máquina, optou por não realizar as etapas “ALINHAMENTO DAS MORSAS” e “CORREÇÃO COMPRIMENTO” por não se sentir seguro. Da mesma forma, o operador inexperiente não se sentiu seguro para realizar o *set up* da máquina sem antes fazer uso do aplicativo para ser treinado. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 16 a seguir:

Figura 16: Medição de tempo sem o uso do aplicativo.

ROTINA DO SETUP CENÁRIO ATUAL SEM TREINAMENTO COM O APP

SEM APP	OPERADOR A	OPERADOR B	OPERADOR C	OPERADOR D
ALIMENTAÇÃO DAS FERRAMENTAS (4x)	00:00:00	00:00:00	00:12:51	00:15:04
ALINHAMENTO DAS MORSAS (4x)	00:12:29	00:00:00	00:08:41	00:10:12
CORREÇÃO DE COMPRIMENTO (4x)	00:00:00	00:00:00	00:08:03	00:09:27
TOMADA DA ORIGEM (X,Y,Z)	00:15:34	00:00:00	00:07:11	00:11:57
TEMPO TOTAL SETUP	00:28:03	00:00:00	00:36:46	00:46:40

OBS.: 00:00:00 (não conseguiu executar a tarefa)

Fonte: Autora

Já as segundas medições de tempo foram realizadas com a utilização do aplicativo e os resultados obtidos estão apresentados na Figura 17 a seguir:

Figura 17: Medição de tempo com o uso do aplicativo.

ROTINA DO SETUP APÓS O TREINAMENTO COM A UTILIZAÇÃO DO APP

COM APP	OPERADOR A	OPERADOR B	OPERADOR C	OPERADOR D
ALIMENTAÇÃO DAS FERRAMENTAS (4x)	00:12:58	00:18:32	00:09:47	00:10:55
ALINHAMENTO DAS MORSAS (4x)	00:10:03	00:23:24	00:07:56	00:09:18
CORREÇÃO DE COMPRIMENTO (4x)	00:09:27	00:19:05	00:05:59	00:08:01
TOMADA DA ORIGEM (X,Y,Z)	00:13:16	00:25:41	00:05:53	00:09:33
TEMPO TOTAL SETUP	00:45:44	01:26:42	00:29:35	00:37:47

Fonte: Autora

Ou seja, os dados obtidos permitiram as seguintes constatações: os operadores que não conseguiram executar todas as etapas do set up foram capacitados pelo uso do aplicativo e os operadores que tinham níveis satisfatório e elevado de experiência com o painel da máquina apresentaram uma melhora em seu desempenho com a redução de respectivamente 19% e 20% nos tempos de execução do *set up*. Isso foi possível graças aos recursos que passaram a utilizar com o conhecimento adquirido no processo de padronização do *set up*. Além disso, falhas deixaram de ocorrer, uma vez que, os operadores que não se sentiam seguros, passaram a realizar a atividade sem erros.

Com esses resultados, torna-se possível afirmar que o aplicativo foi capaz de aumentar a produtividade da atividade desta máquina, uma vez que promoveu a redução nos tempos gastos no *set up*.

CONCLUSÃO

Baseado na literatura que apresentou um cenário atual de investimentos industriais na transformação digital, o presente trabalho, apresentou o desenvolvimento de um aplicativo de realidade aumentada para treinar operadores para realizar *set up* em um centro de usinagem, de modo que atendeu ao objetivo geral deste estudo e respondeu à questão de pesquisa que era a seguinte: Como utilizar a realidade aumentada para treinar operadores em um centro de usinagem visando uma redução do tempo de *set up*?

A questão foi respondida, pois o aplicativo App Setup foi desenvolvido e mostrou-se apto a treinar operadores para realizar o *setup* de um centro de usinagem, como o que foi utilizado como objeto deste estudo, e, também, apresentou uma redução nos tempos das etapas envolvidas no *set up*, conforme comprovado com as medições de tempo de execução sem e com sua utilização.

O objetivo geral da pesquisa foi atendido, uma vez que consistia em desenvolver um aplicativo de realidade aumentada para treinar operadores para realizar *set up* em um centro de usinagem. Ou seja, cumpriu-se o objetivo geral, pois houve o desenvolvimento do aplicativo denominado App Setup que é voltado ao treinamento de operadores para essa atividade.

Com a avaliação do desempenho do aplicativo, os objetivos específicos foram atendidos, pois tanto a diminuição do tempo para a execução do *set up*, quanto o aumento da qualidade do trabalho executado com a redução de falhas nessa atividade foram alcançados. A promoção do uso da tecnologia da realidade aumentada na produção industrial também foi atendida, já que essa tecnologia foi utilizada no aplicativo e trouxe benefícios à indústria, uma vez que a fábrica onde está localizado o centro de usinagem objeto deste estudo pôde conquistar uma ferramenta para o treinamento de seus funcionários, de modo que não há mais a possibilidade de parada da produção deste centro de usinagem em casos onde o operador titular não comparecer ao seu posto de trabalho.

A metodologia do Design Science Research possui sua aplicação delimitada pela orientação experimental no local de pesquisa, assim como pela utilização de protótipos ou artefatos, sejam eles abstratos ou físicos, utilizados na resolução dos problemas pesquisados. Sendo assim, ela foi adequada à execução deste projeto uma vez que a resposta à questão de pesquisa foi baseada no desenvolvimento do aplicativo de realidade aumentada e solucionou, ao menos em parte, o problema vivenciado pela produção da fábrica deste estudo.

Sugere-se então que o aplicativo seja utilizado para as demais máquinas da empresa e se expanda o estudo com mais variáveis de processos, de modo que o aplicativo possa ser mais difundido na fábrica, indo assim, de acordo com a tendência global de investimentos nos pilares da indústria 4.0.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). Indústria 4.0 pode economizar R\$ 73 bilhões ao ano para o Brasil. 2017. Disponível em: <<https://www.abdi.com.br/postagem/industria-4-0-pode-economizar-r-73-bilhoes-ao-ano-para-o-brasil>>. Acesso em 20 jan. 2022.

ALEXANDRE, J. W. C. et al. Análise do número de categorias da escala de Likert aplicada à gestão pela qualidade total através da teoria da resposta ao item. In: **ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, 23., 2003, Ouro Preto. Anais... Ouro Preto: [s.l.], 2003.

ALMEIDA, P. S. **Processo de usinagem**: utilização e aplicações das principais das principais máquinas operatrizes. 1. ed. São Paulo: Érica, 2015.

APARECIDA, R. da S. F., RODRIGUES, J. V. Desafios e oportunidades da indústria 4.0. 2016 Disponível em: https://simpep.feb.unesp.br/abrir_arquivo_pdf.php?tipo=artigo&evento=11&art=365&cad=24431&opcao=com_id. Acesso em: 17 jan. 2022.

ARONSON, R. B. Presetting: Prelude to Perfection. **Manufacturing Engineering**, v. 124, n. 2, p.86-91, 2000.

AZUMA R. T. A survey of augmented reality. Presence: teleoperators and virtual environments, Malibu, v. 6, n. 4. 1997. Disponível em:<<https://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2021.

BARBOSA, P. G. F. **Acessibilidade em museus**: um estudo de caso para apoiar a visita espontânea de surdos com o uso da realidade aumentada. 176 f. Dissertação (Mestrado em Informática). UNIRIO, Rio de Janeiro, 2018.

BAUMGARTEN, C. Realidade aumentada na indústria: o que está sendo feito? 2019. Disponível em: <<https://www.pollux.com.br/blog/realidade-aumentada-na-industria-o-que-esta-sendo-feito/>>. Acesso em 21 nov. 2021.

BOTTANI, E.; VIGNALI, G. Augmented reality technology in the manufacturing industry: a review of the last decade, **IISE Transactions**, v. 51, n. 3, p. 284-310, 2019.

BRAZIL, W. R. R. **Análise de USABILIDADE na interface de um aplicativo digital móvel: um estudo de caso**. 112 f. Dissertação (Mestrado em Design, Tecnologia e Inovação). Centro Universitário Teresa D'Ávila, Lorena, 2017.

CASTANHERA, I. da C. **Uma contribuição ao estudo de vibração no fresamento em alta velocidade de corte do aço D6**. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica, na Área de Materiais e Processos de Fabricação). UNICAMP, Campinas, 2015.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). Competitividade Brasil. 2020. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/competitividade-brasil-comparacao-com-paises-selecionados/>>. Acesso em 15 mar. 2021.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). PQT - Investimentos em Indústria 4.0. 2018. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/competitividade-brasil-comparacao-com-paises-selecionados/>>. Acesso em 15 mar. 2021.

CUNHA, L. M. da. **Modelos Rasch e Escalas de Likert e Thurstone na medição de atitudes**. 78 f. Dissertação (Mestrado em Probabilidades e Estatística). Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2007.

DE DEUS, P. R. **Análise do processo de fresamento de MDF em centro de usinagem CNC**. 146 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica na Área de Materiais). UNESP, Guaratinguetá, 2015.

DINARDO, M. et al. A mapping analysis of maintenance in Industry 4.0. **Journal of Applied Research and Technology**, v. 19, n. 6, p. 653–675, 2021.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F.C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 1. ed. São Paulo: M M editora, 1999.

DOS SANTOS, A. **Seleção do método de pesquisa: guia para pós-graduando em design e áreas afins**. 22. ed. Curitiba: Insight editora, 2018.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JR, J. A. V. **Ciência do design Pesquisa: Um método para ciência e tecnologia avanço**. 1. Ed. Porto Alegre: Springer, 2015.

EVANGELISTA, G. M. S. et al. Estudo dos impactos sobre os resultados da produção relacionados a operação de pré-ajustagem de ferramentas em empresas de usinagem. 2017. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/publicacoes/artigo.asp?e=enegep&a=2017&c=33197>>. Acesso em: 9 mar. 2022.

FERRARESI, D. **Fundamentos Da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.

GONZALEZ, A. G.; QUINONERO, D. R.; VEGA, S. F. Assessment of the Degree of Implementation of Industry 4.0 Technologies: Case Study of Murcia Region in Southeast Spain. **Engineering Economics**, v. 32, n. 5, p. 422–432, 2021.

HARMON, R. L.; PETERSON, L. D. **Reinventando a fábrica: conceitos modernos de produtividade aplicados na prática**. Rio de Janeiro: Campos, 1991.

HEVNER, A. R.; MARCH, S. T.; PARK, J.; Ram, S. Design Science in information systems research. **MIS Quarterly**, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004.

HO, P. T. et al. Study of Augmented Reality Based Manufacturing for Further Integration of Quality Control 4.0: A Systematic Literature Review. **Applied Sciences**, v. 12, n. 4, p. 1961, jan. 2022.

KANG, H. S. et al. Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology**, v. 3, n. 1, p. 111–128, jan. 2016.

KIRNER, C., SISCOOTTO, R. **Realidade virtual e aumentada: conceitos, projeto e aplicações**. In: Livro do IX Symposium on Virtual and Augmented Reality, Porto Alegre: Editora SBC - Sociedade Brasileira de Computação, 2007.

KO, S. M.; CHANG, W. S.; JI, Y. G. Usability principles for augmented reality applications in a smartphone environment. **International Journal of Human-Computer Interaction**, v. 29, n. 8, p. 501–515, 2013.

LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 20, n. 4, p. 741-761, 2013.

LEITE, Y. G. dos S. et al. Proposta de melhoria para aumento de produtividade em um centro de usinagem. **Navus: Revista de Gestão e Tecnologia**, v. 8, n. 3, p. 113-125, 2018.

MACHADO, A. R. et al. **Teoria da usinagem dos materiais**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, v. 15, p. 251-266, 1995.

MENEGON, E. M. P.; ZAMBARDA, A. B. Percepção de colaboradores sobre as ações de treinamentos em uma indústria têxtil. **Navus: Revista de Gestão e Tecnologia**, v.9, n. 1, p. 7-20, 2019.

MOURA, M. O. de. **Controle da variação de quantidades**: atividades de ensino. São Paulo, Universidade de São Paulo, 1996.

NIELSEN, J. **Avaliação heurística**. Em Nielsen, J. e Mack, RL (Eds.), Usability Inspection Methods. John Wiley & Sons, New York, NY, 1993.

OLIVEIRA, T. M. V. Escalas de mensuração de atitudes: Thurstone, Osgood, Stapel, Likert, Guttman, Alpert. **FECAP**, v. 2, n. 2, 2001. Disponível em: <http://www.fecap.br/adm_online/art22/tania.htm>. Acesso em: 23 maio 2022.

PEREIRA, S. **Melhoria da produtividade no processo de usinagem em ferro fundido maleável preto**: um estudo de caso. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). UFSC, Florianópolis, 2007.

PINHEIRO, C. **Efeitos do teor de umidade da madeira no fresamento de Pinus elliottii**. 122f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). UNESP, Guaratinguetá, 2014.

PREECE, Jennifer; ROGERS, Yvone; SHARP, Helen. **Design de Interação**: Além da Interação homem computador. Editora Bookman, São Paulo: 2005.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do Trabalho Científico**: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico. 2a ed. Nova Hamburgo: Universidade Freevale, 2013.

RODRIGUES, C. S. C. **VisAr3D**: uma abordagem baseada em tecnologias emergentes 3D para o apoio à compreensão de modelos UML. 166 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas e Computação). UFRJ, Rio de Janeiro, 2009.

RODRIGUES, D. D. Design Science Research como caminho metodológico para disciplinas e projetos de Design da Informação. **Revista Brasileira de Design da Informação**. São Paulo, v. 15, n. 1, p. 111-124, 2018.

ROMI. Catálogo Centros de Usinagem Linha D ROMI. 2017. Disponível em: < <https://www.romi.com/produtos/linha-romi-d/> >. Acesso em: 17 fev 2022.

ROSÁRIO, J. M. Automação Industrial. São Paulo: Baraúnas, 2009.

RÜBMANN, M.; LORENZ, M.; WALDNER M., ENGEL, P.; HARNISCH, M.; JUSTUS, J. Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. Boston Consulting Group, APRIL 2015. Disponível em:<https://www.bcg.com/pt-br/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries>. Acesso em: 12 out. 2021.

SANTOS, B. P.; ALBERTO, A.; LIMA, T. D. F. M.; CHARRUA-SANTOS, F. M. B. Industry 4.0: Challenges and opportunities. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, n. 1, p. 111-124, mar 2018.

SANTOS, S.; SALES, W. F. **Aspectos tribológicos da usinagem dos materiais**. São Paulo: Artliber, 2007.

SCHWAB, K. **The Fourth Industrial Revolution**. São Paulo: Edipro, 2016.

SENAI. Apostila de torno CNC: Programação de Torno CNC Comando Fanuc 0I-TB. Escola SENAI “Roberto Simonsen”,2006. Disponível em: < <https://dokumen.tips/documents/apostila-de-torno-cnc-senai-bras.html>>. Acesso em: 9 mar. 2021.

SERVÁN, J.; MAS, F.; MENÉNDEZ, J.L.; RÍOS, J. Using Augmented Reality in AIRBUS A400M Shop Floor Assembly Work Instructions. **Proceedings of AIP Conference**, v. 1431, p. 633–640, 2012.

SHEER, A. W. **CIM: Evoluindo para Fábrica do Futuro**. Rio de Janeiro: Qualitymark: 1993.

SHINGO, S. **Sistema de Troca Rápida de Ferramentas: Uma Revolução dos Sistemas Produtivos**. 1ª ed. [s.l.] Bookman, 2000.

SILVA JUNIOR, S.D.; COSTA, F. J. Mensuração e Escalas de Verificação: uma Análise Comparativa das Escalas de Likert e Phrase Completion. **PMKT – Revista Brasileira de Pesquisas de Marketing, Opinião e Mídia**, São Paulo, Brasil, v. 15, p. 1-16, out. 2014.

SIMON, A. T.; LIMA, C. R. C. Computer numeric control machine tools utilization by metalworking companies in Brazil. **Int. J. Manufacturing Research**, v. 10, n. 3, p. 267-285, 2015.

SIMON, H.A. **The Sciences of the Artificial**, MIT Press, Cambridge, MA, 1996.

SOARES, H. H. A., **Usinagem industrial: Análise e implantação de melhorias em um centro de usinagem de equipamentos de segurança**. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica, UNIS –MG, Varginha, 2021.

TOLEDO, L.V.; DE MORAES, M.; CORRER, I. Proposta de redução de tempo de setup em máquinas de testes de durabilidade em uma empresa fornecedora de autopeças com o uso de conceitos SMED e padronização. **Revista Gestão Industrial**, UTFPR, v.14, n. 3, p. 01-22, jul.2018.

VAIDYA, S.; AMBAD, P.; BHOSLE, S. Industry 4.0 – A Glimpse. **Procedia Manufacturing, 2nd International Conference on Materials, Manufacturing and Design Engineering (iCMMD2017)**, 11-12 December 2017, MIT Aurangabad, Maharashtra, INDIA. v. 20, p. 233–238, 1 jan. 2018.

WIERINGA, R. Design science as nested problem solving, Proceedings of the 4th int. conf. on design science research in information systems and technology. **Association for Computing Machinery**, Nova Iorque, v.1, p.8, 2009.

ZAGNOLE, A. A.; NOGUEIRA, P. L.; GIACCHETTI, M. C. M. Melhoria de métodos e processos de usinagem em organização no ramo de hidráulica com produção sob encomenda. 2017. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/publicacoes/index.asp?pesq=ok&ano=2017&area=&pchave=Melhoria+de+m%E9todos+e+processos+de+usinagem+em+organiza%E7%E3o+no+ramo+de+hidr%E1ulica+com+produ%E7%E3o+sob+encomenda&autor=>>>. Acesso em: 09 fev. 2022.

APÊNDICE A

ROTEIRO DOS PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS:

ALIMENTAÇÃO DAS FERRAMENTAS NO TROCADOR AUTOMÁTICO DE FERRAMENTAS (TAF)

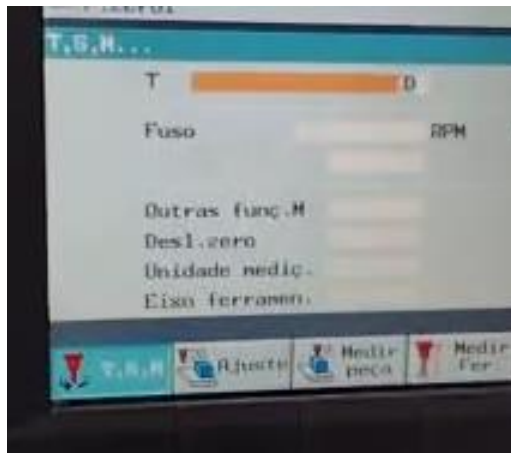
- 1- Acionar o botão JOG



- 2- Acionar o botão no SOFTKEY



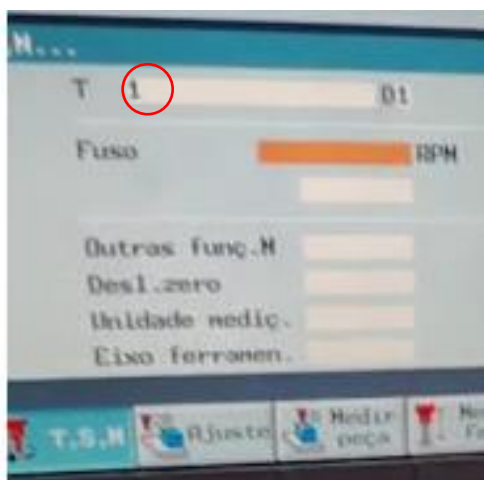
- 3- Aparece a tela das FERRAMENTAS



4- Digitar no teclado numérico a posição da ferramenta



5- A posição da ferramenta selecionada aparece na tela



6- Acionar o botão CYCLE START



7- O TAF se desloca até o cabeçote para trocar a ferramenta



APÊNDICE B

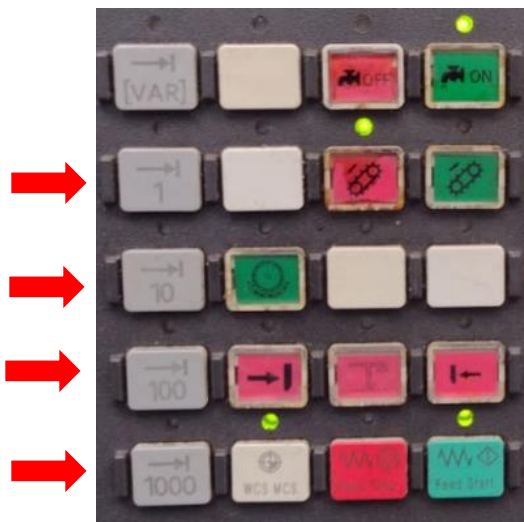
ROTEIRO DOS PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS:

ALINHAMENTO DAS MORSAS

- 1- Acionar o botão JOG



- 2- Escolher a opção de velocidade de avanço e acionar o botão



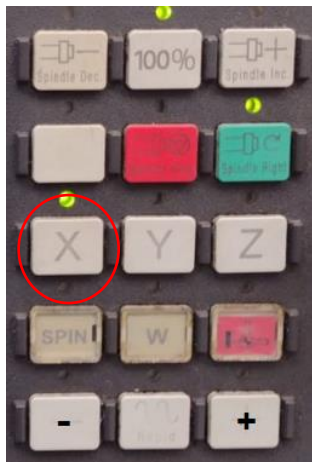
- 3- Apertar o botão do eixo Z



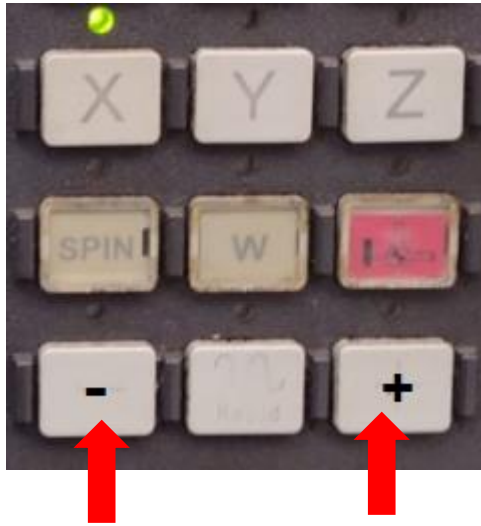
- 4- Apertar o botão – para aproximar o relógio apalpador no mordente da morsa



- 5- Apertar o botão do eixo X



- 6- Apertar o botão – para acionamento da mesa para o lado esquerdo ou + para o lado direito



APÊNDICE C

ROTEIRO DOS PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS:

TOMADA DA ORIGEM DOS EIXOS X E Y

- 1- Utilizar CENTRALIZADOR LOCALIZADOR montado no porta ferramenta



- 2- Acionar o botão da velocidade de avanço



- 3- Utilizar o JOYSTICK para movimentar os eixos X e Y



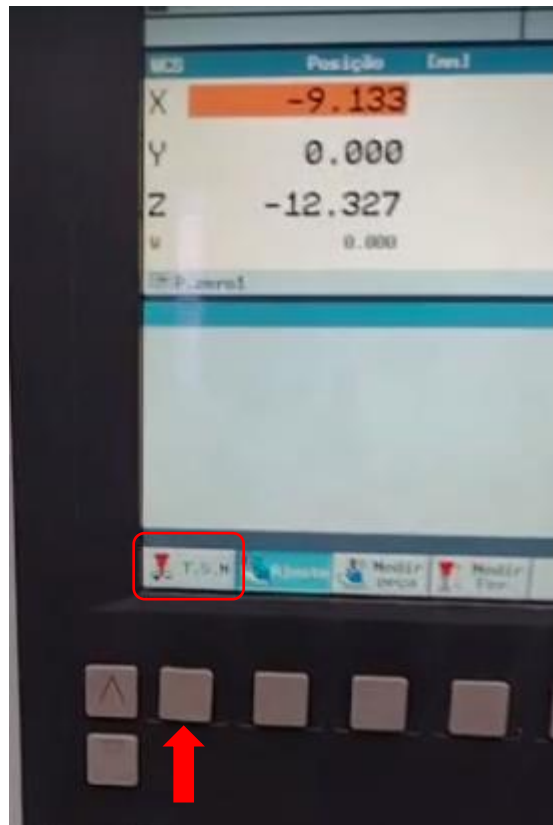
4- Aproximar o CENTRALIZADOR LOCALIZADOR na ponta do lado esquerdo do eixo



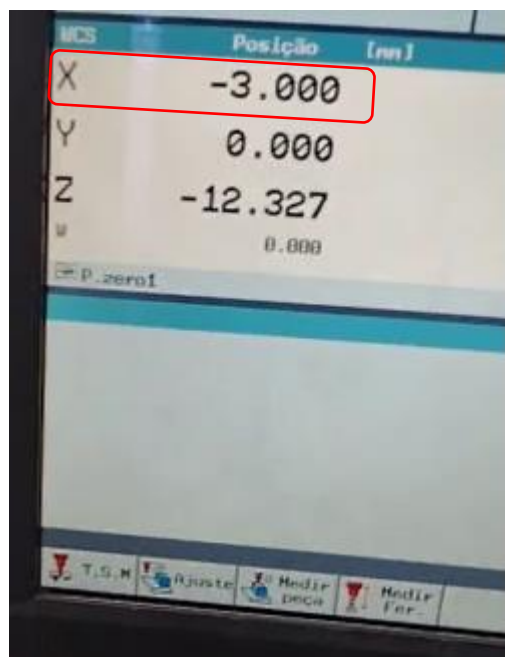
5- Manter acionado o botão JOG



6- Acionar o botão AJUSTE



7- Digitar -3,0 (referente à metade do diametro do CENTRALIZADOR LOCALIZADOR)



8- Repetir os procedimentos para tomada da origem do eixo Y

APÊNDICE D

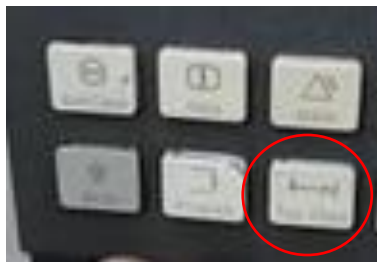
ROTEIRO DOS PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS:

CORREÇÃO COMPRIMENTO DE FERRAMENTA NO EIXO Z

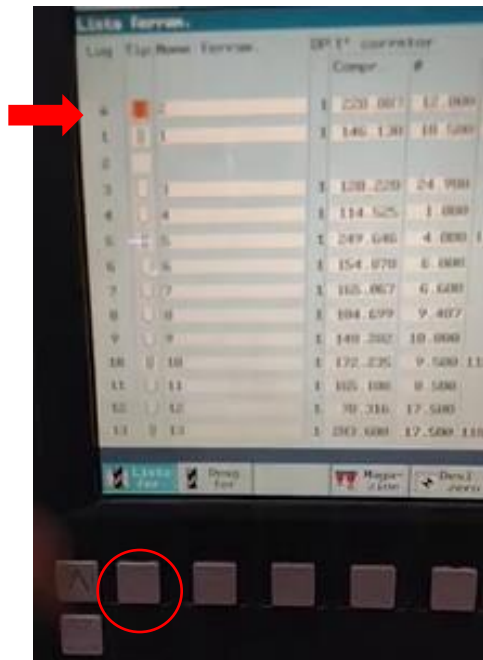
- 1- Tomar a dimensão aproximada da ferramenta montada no porta ferramenta com paquímetro



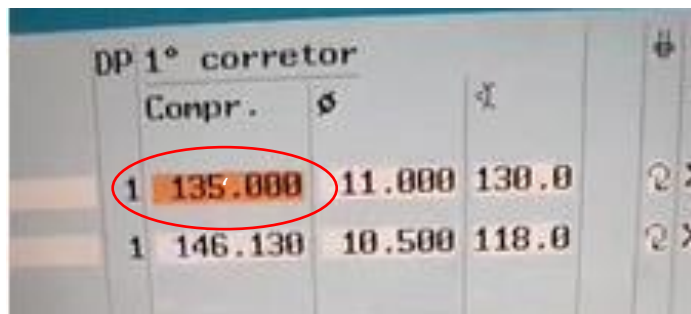
- 2- Acionar o botão TOOL OFFSET



- 3- Acionar o botão para acessar a lista de ferramentas no painel



4- Digita o comprimento da ferramenta no campo CORRETOR COMPR.



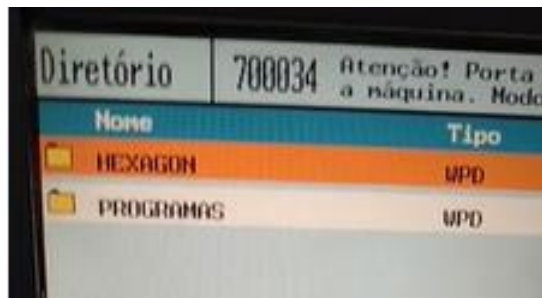
5- Coloca a ferramenta no eixo arvore



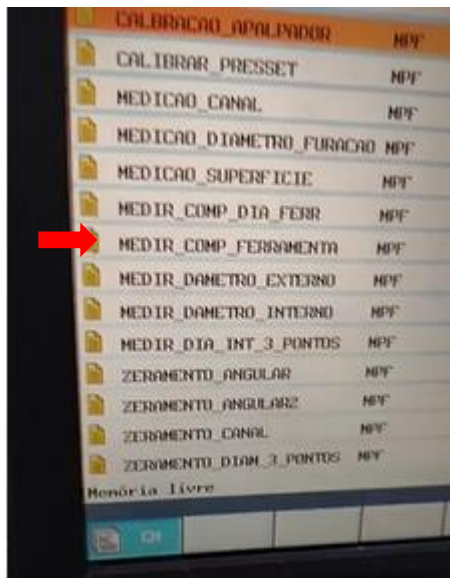
- 6- Acionar o botão PROGRAM MANAGER



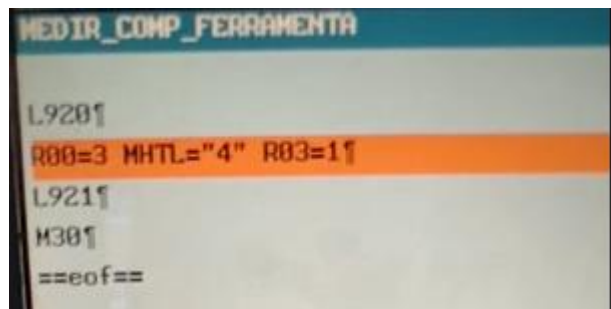
- 7- Abre na tela a pasta HEXAGON



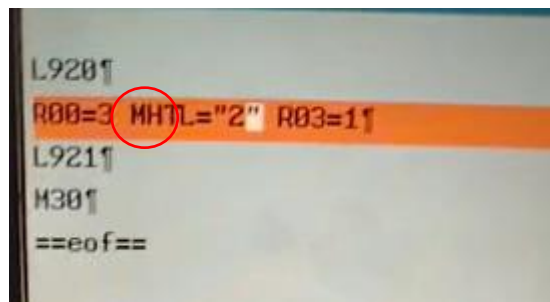
- 8- Abrir o diretório e selecionar a opção MEDIR_COMP_FERRAMENTA



- 9- Escolher na lista a ferramenta que será feita a correção



10- Digitar o número das ferramentas para alterar



11- Acionar o botão EXECUTAR



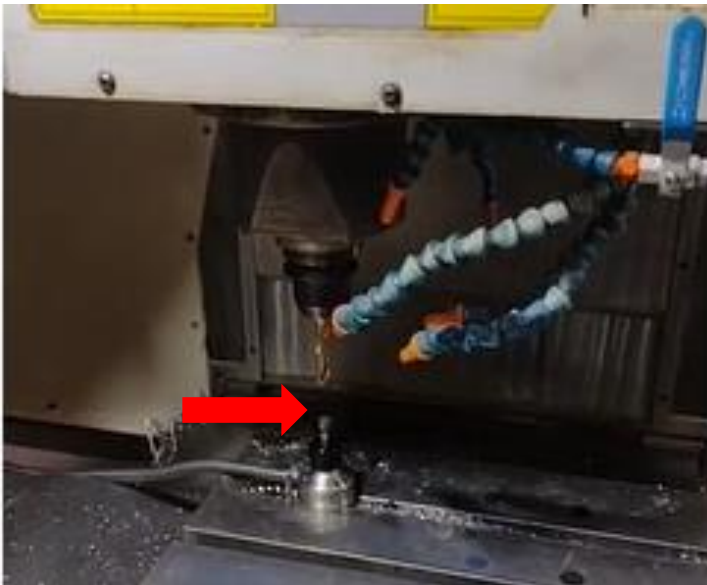
12- Acionar o botão CYCLE START



13- A mesa se desloca no eixo X e Y posicionando o PRESSET HESAGON



14- Eixo Z desce aproximando a ferramenta para tomada do pressete



15- O valor tomado no sensor alimenta os dados na lista de compensação de ferramentas

DP 1° corretor					
Conpr.					1 2
1	134.521	11.000	130.0	Q	X X
1	146.130	10.500	118.0	Q	X X
1	120.220	24.900		3	Q X X
1	114.525	1.000		90	Q X X
1	249.646	4.000	118.0	Q	X X
1	154.878	6.000		0	Q X X
1	165.067	6.600		90	Q
1	104.699	9.487		11	Q X
1	148.282	10.000		7	Q
1	172.235	9.500	118.0	Q	
1	165.100	8.500		2	Q
1	70.316	17.500		11	Q
1	203.600	17.500	118.0	Q	X

Magazine Desl. zero Parâ-
met. R

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA

UNIDADE DE PÓS-GRADUAÇÃO, EXTENSÃO E PESQUISA

MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E TECNOLOGIA EM SISTEMAS PRODUTIVOS

LINHA DE PESQUISA: Gestão da Produção e de Operações.

PROJETO DE PESQUISA: Inovação de Processos e Desenvolvimento de Produtos.

RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO

TÍTULO: Realidade aumentada aplicada a treinamento e agilidade de set up em centro de usinagem.

NOME DO ALUNO: Mayara Neves Pohlmann

NOME DO ORIENTADOR: Prof. Dr. Alexandre Formigoni

DEMAIS AUTORES/ORGANIZAÇÃO:

São Paulo

Junho/2022

P748r Pohlmann, Mayara Neves
Realidade aumentada aplicada a treinamento e agilidade de set up em centro de usinagem / Mayara Neves Pohlmann. – São Paulo: CPS, 2022.
76 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Formigoni
Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, 2022.

1. Realidade aumentada. 2. Indústria 4.0. 3. Centro de usinagem. 4. Set up. 5. Inovação de processos e desenvolvimento de produtos.
I. Formigoni, Alexandre. II. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Não tenho como começar a expressar minha gratidão sem citar o meu amado Deus que me permitiu chegar até este momento, mesmo diante de todas as dificuldades existentes ao longo desse período de estudo. Junto a ele, devo citar também a dedicação que minha mãe do céu teve comigo, me protegendo de todo mal e sendo a melhor intercessora que eu poderia ter.

Aos meus pais que depuseram suas confianças em mim e compreenderam a escolha que fiz, mesmo sabendo que isso envolveria uma dedicação tão intensa aos meus estudos, conciliando este mestrado e minha segunda graduação.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Alexandre Formigoni, pelo voto de confiança que me deu desde o dia da minha entrevista final no processo seletivo. Devo ainda agradecê-lo também pelo apoio incondicional e motivação que dia após dia me oferecia, com toda paciência e sempre torcendo para que eu consiga alcançar meu objetivo de me tornar uma professora universitária. Obrigada por todas as conversas e conselhos que tanto aprendizado me trouxeram, você sempre será um exemplo para mim.

Ao meu grupo de pesquisa que tanto suporte me deu para que eu conseguisse executar esse projeto. Ao Miller Oliveira Ramos que trouxe o olhar de um operador para mim e me deu todo suporte com os testes e conversas com o chão de fábrica. Rafael Lima Duaibes e Vitor Hugo Chioda Pasquali que trouxeram todos seus conhecimentos em tecnologia. Marco Aurélio Feriotti com sua experiência de fábrica e nos fornecendo visitas importantes. Todos vocês meninos foram de extrema importância para que tudo fosse realizado, fomos uma equipe de sucesso, mesmo com tantos percalços pelo caminho, e quero que saibam que sem vocês esse projeto não existiria. Muito obrigada por toda dedicação de vocês que foram fundamentais em todas as etapas.

Aos meus companheiros de orientador: Izolina Margarida de Souza, Vitor Marcelo Halcsik e Ronald de Freitas Oliveira. Cada um de vocês foram fundamentais para que conseguíssemos aumentar nossa produção científica e dessa forma fosse possível concluirmos nosso mestrado. Em especial gostaria de

ressaltar a participação do Ronald que organizou visitas para que eu pudesse realizar testes do aplicativo e ao Vitor que realizou testes com sugestões que foram muito importantes.

Aos meus colegas da graduação na Fatec de Guarulhos e do mestrado por toda ajuda ao longo da realização das disciplinas tornando possível a conciliação entre essas duas formações importantes para mim, realizando-as ao mesmo tempo.

Um agradecimento especial a cada um dos meus professores do mestrado e de toda a minha trajetória até aqui, desde os meus professores dos colégios Mater Amabilis e Júlio Mesquita, passando pelos do Anglo de Guarulhos, da minha primeira graduação na USP de Lorena e da minha segunda graduação na FATEC Guarulhos. Foi nesta última instituição, inclusive, que com uma conversa com meu coordenador José Martino Neto despertei meu interesse em seguir na carreira acadêmica, sendo assim sou muito grata por todas as conversas, conselhos e apoio que dele recebi.

Familiares e amigos, gratidão também a vocês que por muitas vezes tiveram paciência e compreensão com algumas ausências minhas. Obrigada por existirem e tornarem esse sonho possível.

E por último e não menos importante, Nina, Duda e Dídi, muito obrigada por existirem e serem verdadeiros remédios com suas doses de carinho e animação ao longo desse período do mestrado.

Deus foi muito bom comigo e me prova o tempo todo que está ao meu lado em todos os momentos. “Confia no Senhor” é uma frase que levo para a vida e depois desse projeto afirmo com mais certeza de que o caminho tem que ser sempre depositando nossa confiança nele.

Uma frase atribuída à Yoko Ono diz: “Um sonho sonhado sozinho é um sonho. Um sonho sonhado junto é realidade”. Eis a minha realidade graças a todos esses que estiveram presentes nesse agradecimento. Que venham novos sonhos e que sempre a gratidão esteja em meu coração!

RESUMO

POHLMANN, M. N. **Realidade aumentada aplicada a treinamento e agilidade de set up em centro de usinagem**. 76 f. Dissertação de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2022.

Motivado pela necessidade presente em processos produtivos de buscar ao máximo a redução do tempo de execução de atividades, o presente trabalho dispõe-se a implementar a tecnologia da realidade aumentada em uma máquina de uma fabricante de linhas de envase para indústria de bebidas. Considerando o ponto de vista de um experiente operador que atua em uma máquina ferramenta, essa tecnologia, considerada um dos pilares da indústria 4.0, passa então a ser explorada de maneira que outros operadores também possam atuar nesta máquina com eficiência e qualidade, mesmo com inexperiência. Para tal implementação, o cenário escolhido foi da atividade de *set up* em um centro de usinagem. Dessa forma estipulou-se como objetivo geral deste trabalho o desenvolvimento de um aplicativo de realidade aumentada para treinar operadores para realizar *set up* em um centro de usinagem e como objetivos específicos determinou-se: diminuir o tempo para a execução do *set up*; aumentar a qualidade do trabalho executado com a redução de falhas nessa atividade e fomentar o uso da tecnologia da realidade aumentada na produção industrial. A metodologia usada foi a *Design Science Research*, pois a mesma utiliza-se do desenvolvimento de um protótipo ou artefato para a resolução dos problemas pesquisados, adequando-se assim ao objetivo deste trabalho. Como resultado principal está a criação do aplicativo app-setup que fez uso da realidade aumentada para fornecer informações importantes para a execução do *set up* do centro de usinagem que foi escolhido para ser objeto do estudo em questão. O aplicativo teve como foco a utilização em smartphones com sistema operacional Android e foi submetido à avaliação de operadores com diferentes níveis de experiência na atividade com o intuito de verificar se a questão de pesquisa foi respondida, ou seja, se ele tornou possível o treinamento de novos operadores ou substitutos de maneira satisfatória para a realização do *set up* e se trouxe ganho de agilidade nesta atividade. As avaliações realizadas tiveram como base as Heurísticas de Nielsen (1993) para validação do aplicativo quanto à usabilidade e houve a medição dos tempos gastos na realização do *set up* antes e depois da utilização do aplicativo, permitindo constatar que, além de o aplicativo ter sua eficiência comprovada quanto ao treinamento dos operadores, já que operadores que não sabiam executar determinadas etapas conseguiram executá-las, houve, também, ganho em termos de agilidade do processo com reduções de 19% e 20% nos tempos de execução do *set up* entre os operadores que sabiam realizar todas suas etapas.

Palavras-chave: Realidade aumentada. Indústria 4.0. Centro de usinagem. *Set up*. Inovação de Processos e Desenvolvimento de Produtos.

ABSTRACT

POHLMANN, M. N. **Augmented reality applied to training and setup agility in a machining center.** 68 p. Professional Master's Dissertation in Management and Technology in Productive Systems. Paula Souza State Technological Education Center, São Paulo, 2022.

Motivated by the present need in production processes to seek the maximum reduction of the execution time of activities, the present work intends to implement the augmented reality technology in a machine of a manufacturer of filling lines for the beverage industry. Considering the point of view of an experienced operator who works on a machine tool, this technology, considered one of the pillars of industry 4.0, is then explored so that other operators can also work on this machine with efficiency and quality, even with inexperience. For such implementation, the chosen scenario was the set up activity in a machining center. Thus, the general objective of this work was the development of an augmented reality application to train operators to perform set up in a machining center and as specific objectives it was determined: to reduce the time for the execution of the set up; increase the quality of work performed by reducing failures in this activity and encourage the use of augmented reality technology in industrial production. The methodology used was Design Science Research, because it uses the development of a prototype or artifact to solve the researched problems, thus adapting to the objective of this work. The main result is the creation of the app-setup application that made use of augmented reality to provide important information for the execution of the machining center set up that was chosen to be the object of the study in question. The application focused on use on smartphones with Android operating system and was submitted to the evaluation of operators with different levels of experience in the activity in order to verify if the research question was answered, that is, if it made training possible. of new operators or substitutes in a satisfactory way for the accomplishment of the set up and if it brought agility gain in this activity. The evaluations carried out were based on Nielsen's Heuristics (1993) to validate the application in terms of usability and there was a measurement of the time spent in carrying out the set up before and after using the application, allowing to verify that, in addition to the application having its proven efficiency in terms of operator training, since operators who did not know how to perform certain steps were able to perform them, there was also a gain in terms of process agility with

reductions of 19% and 20% in setup execution times among the operators who knew how to carry out all its steps.

Keywords: Augmented reality. Industry 4.0. Machining center. Set up. Process Innovation and Product Development.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1:	Diretrizes da pesquisa <i>Design Science</i>	25
Quadro 2:	Etapas presentes no método DSR	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Campo de aplicação em relação aos tipos de publicações	19
Tabela 2:	Setor industrial em relação aos tipos de publicações.....	19

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Revoluções industriais	16
Figura 2:	Ciclo regulador do <i>Design Science Research</i>	25
Figura 3:	Resumo dos principais conceitos da ciência do design	28
Figura 4:	Curva de evolução do número de publicações sobre RA na indústria por ano	32
Figura 5:	Centro de usinagem objeto do estudo.....	33
Figura 6:	QR code para acionar informações do aplicativo.....	35
Figura 7:	Tela inicial do aplicativo.....	36
Figura 8:	Menu inicial do aplicativo.....	36
Figura 9:	Tela do tutorial das atividades.....	37
Figura 10:	Ferramentas rotineiras.....	40
Figura 11:	Níveis de experiência com o painel do centro de usinagem – operadores e especialista	43
Figura 12:	Respostas questionário de avaliação – rodada1.....	44
Figura 13:	Respostas questionário de avaliação – rodada 2.....	45
Figura 14:	Níveis de experiência com o painel do centro de usinagem – operadores.....	47
Figura 15:	Medição de tempo sem o uso do aplicativo.....	47
Figura 16:	Medição de tempo com o uso do aplicativo	48

LISTA DE SIGLAS

3D	3 Dimensões
ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
APP	Aplicativo
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CNC	Controle Numérico Computadorizado
CPPS	<i>Cyber Physical Production System</i>
CU	Centro de Usinagem
DS	<i>Design Science</i>
DSR	<i>Design Science Research</i>
GE	<i>General Electrics</i>
I4.0	Indústria 4.0
RA	Realidade Aumentada
RV	Realidade Virtual
SDK	<i>Softwares Development Kit</i>
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS UTILIZADOS NA PESQUISA	15
1.1 Indústria 4.0	15
1.2 Realidade Aumentada	17
1.2.1 Realidade aumentada na indústria.....	18
1.3 Centros de usinagem	20
1.3.1 Processo de Usinagem	21
1.4 Set up e preparação de máquinas	22
1.4.1 Set ups em centros de usinagem.....	23
1.4.2 Treinamentos para set ups em centros de usinagem.....	24
1.5 Design Science Research	24
1.6 Heurísticas de Nielsen	28
1.6.1 As 10 Heurísticas de Nielsen.....	28
1.6.2 Questionários de avaliação.....	30
2 CAMINHO METODOLÓGICO	31
2.1 Conscientização do problema	31
2.2 Ideação	32
2.3 Desenvolvimento	32
2.3.1 Capacitação em realidade aumentada	33
2.3.2 Escolha do cenário	33
2.3.3 Escolha do perfil do usuário	34
2.3.4 Formulação do roteiro da atividade escolhida	34
2.3.5 Desenvolvimento do protótipo	35
2.3.6 Definição da avaliação.....	41
2.4 Demonstração do artefato	42
2.5 Avaliação	42
2.6 Comunicação	42
3 RESULTADOS (INOVAÇÃO/ INTERVENÇÃO/ RECOMENDAÇÕES)	43

3.1 Validação do aplicativo quanto ao funcionamento	43
3.2 Verificação do desempenho quanto ao tempo gasto	46
4 CONTRIBUIÇÕES PARA A ORGANIZAÇÃO E/OU SOCIEDADE	48
REFERÊNCIAS	50
ANEXO-1: DETALHAMENTO DO PRODUTO (CAPES)	

INTRODUÇÃO

Segundo a Confederação Nacional da Indústria – CNI – em pesquisa temática sobre investimentos em indústria 4.0, foi possível observar que, ao longo dos últimos anos, aumentou expressivamente a quantidade de indústrias brasileiras que fazem uso de tecnologias digitais, isto é, que seguem os moldes da Indústria 4.0, ainda que em estágio inicial. No período que vai do começo de 2016 ao de 2018, a porcentagem correspondente às grandes organizações que fazem uso de ao menos uma tecnologia digital, das alternativas mostradas, foi de 63% para 73%. E no ano de 2018 cerca de metade dessas grandes organizações industriais planejava investir nessas tecnologias (CNI, 2018).

Ou seja, a cada ano aumentou-se o movimento de empresas brasileiras em busca da inserção de tecnologias presentes na indústria 4.0.

Ainda segundo a CNI, em um ranking denominado competitividade Brasil, considerando 18 economias globais, a média geral do Brasil aumentou, porém não o suficiente para tirá-lo da penúltima colocação (CNI, 2020). Isto é, considerando que a competitividade é uma preocupação global das empresas, ainda há muito que ser investido no país para melhorar a posição da indústria brasileira em termos de competitividade.

O cenário da pandemia da COVID-19 acentuou ainda mais a crise econômico-financeira que o Brasil vinha passando nos últimos anos, de forma que as indústrias brasileiras aumentaram suas pressões em termos de buscar cada vez mais caminhos para aumentar sua capacidade produtiva, qualidade dos produtos e eliminar desperdícios. Um caminho seguido neste período pandêmico tem sido o crescimento da utilização de tecnologias digitais. A ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (2017) pressupõe que aderindo ao uso dos pilares da I4.0, o Brasil conseguiria ganhar cerca de 73 bilhões de reais ao ano. Esse ganho poderia ainda aumentar se forem gerados investimentos em infraestrutura, programas de incentivo e linhas de crédito, ou seja, ações para fomentar o uso das tecnologias da I4.0, dentre elas, a realidade aumentada que consiste na combinação do ambiente físico do mundo real com elementos virtuais de maneira que são visualizados por meio de um dispositivo eletrônico.

Nos processos industriais, os equipamentos fabris costumam a realizar paradas para reajustes e trocas de produtos, essas interrupções são conhecidas como *set up* e, entre as atividades existentes nos processos industriais, ele é a que mais gera perdas em termos de produtividade devido às movimentações desnecessárias dos operadores, mudança de lotes ou peças em filas (EVANGELISTA et al., 2017). Há também o pré-ajuste de ferramentas, que é apontado como uma das principais razões para o elevado tempo de *set up* (SHINGO, 2000). Por impactar de tal maneira a produtividade processual, ele torna-se alvo de estudos para seu aperfeiçoamento de maneira que seu tempo de execução seja reduzido ao máximo. Além disso, reduções na produtividade também ocorrem quando um funcionário responsável por determinada atividade deixa de executá-la seja por licenças ou até mesmo por aposentadoria, uma vez que nessas situações os funcionários que passarão a atuar precisam adaptar-se e essa adaptação geralmente envolve treinamentos cujos níveis de eficiência podem não ser satisfatórios. Sendo assim, torna-se viável o estudo de melhorias para o treinamento de funcionários para a execução de *set ups* e, baseado no avanço do uso de tecnologias digitais pela indústria brasileira, uma opção para o aperfeiçoamento dessa atividade seria o uso da tecnologia da realidade aumentada.

Ou seja, tendo em vista esses cenários apresentados, como utilizar a realidade aumentada para treinar operadores em um centro de usinagem visando uma redução do tempo de *set up*? Com o intuito de responder essa questão, o objetivo geral deste trabalho consiste em desenvolver um aplicativo de realidade aumentada para treinar operadores para realizar *set up* em um centro de usinagem e em acréscimo os objetivos específicos apresentam-se como a diminuição do tempo para a execução do *set up*, o aumento da qualidade do trabalho executado com a redução de falhas nessa atividade e a promoção do uso da tecnologia da realidade aumentada na produção industrial.

Para este projeto o método de pesquisa selecionado foi o *Design Science Research* que de modo prático foca no estudo de problemas de natureza prática (HEVNER et al., 2004) cuja finalidade é a criação de soluções para questões do mundo real, gerando dessa maneira novos conhecimentos por meio de seus testes. Sua aplicabilidade é restringida por sua orientação experimental no seu local de estudo, tal qual pelo uso de protótipos ou artefatos, físicos ou abstratos, usados na solução dos problemas estudados.

Ao final os resultados mostraram que, após a avaliação de operadores do setor onde está localizado o centro de usinagem do presente trabalho, com distintos graus de instrução para a execução do seu *set up*, o aplicativo desenvolvido foi capaz de treinar e, dessa forma, tornar aptos à realização desta atividade operadores recém-contratados e os que eventualmente são selecionados para substituir o operador titular da máquina, por licenças ou aposentadorias. As avaliações que serviram para a validação do aplicativo quanto à usabilidade tiveram como base as Heurísticas de Nielsen, já para a verificação do desempenho dele, em termos de aumento de produtividade, houve a medição dos tempos das etapas do

set up que mostraram reduções de 19% e 20% nas execuções realizadas pelos operadores com níveis de experiência satisfatório e elevado com o painel da máquina.

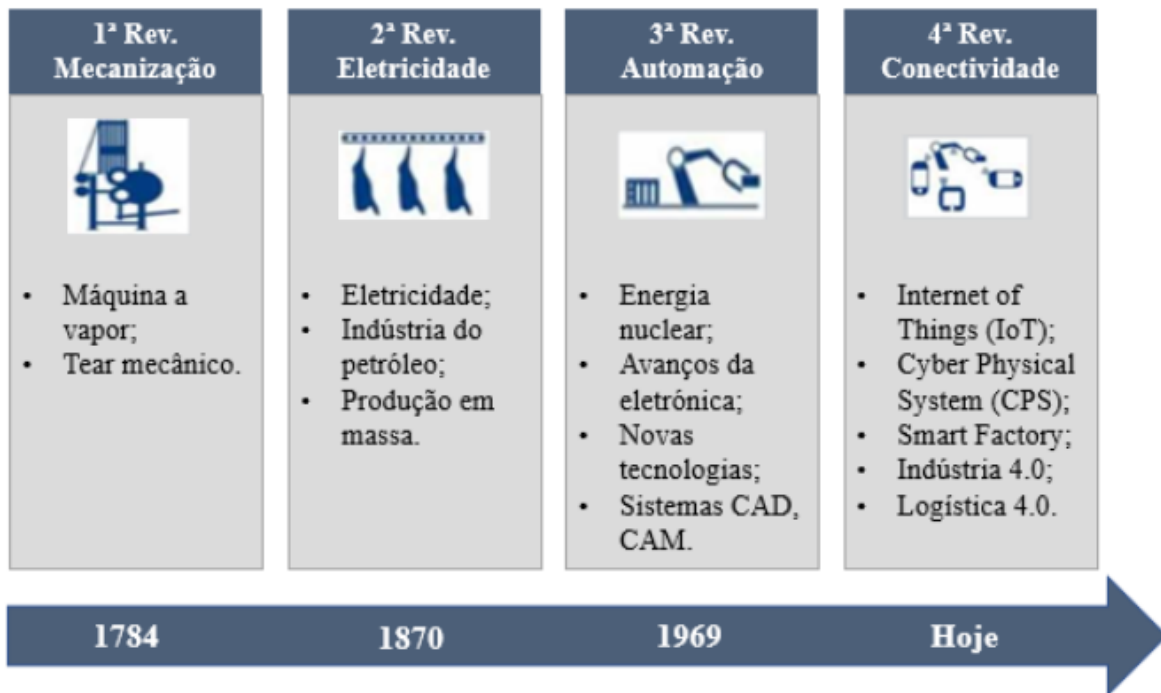
1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS UTILIZADOS NA PESQUISA

Com a finalidade de uma maior compreensão do presente trabalho é necessário que seja apresentada uma explanação a respeito dos principais conceitos envolvidos no estudo realizado. Para tal compreensão, este capítulo visa apresentar um embasamento teórico de modo que está dividido em seis itens: Indústria 4.0, Realidade Aumentada, Centro de usinagem, *Set up*, *Design Science Research* e Heurísticas de Nielsen. Estes foram os itens escolhidos pelo fato de que este estudo abordou um dos pilares da indústria 4.0 que é a realidade aumentada, aplicando-a em um centro de usinagem para aprimorar a atividade do *set up* dentro do processo produtivo deste centro, de maneira que, assim como o *Design Science Research* define, foi criado um artefato, neste caso um aplicativo, que teve como base para a sua avaliação as Heurísticas de Nielsen.

1.1 Indústria 4.0

No final do século XVIII, na Inglaterra ocorreu a primeira revolução industrial e, desde então, ocorrem quebras de paradigmas nos processos industriais conhecidas como revoluções industriais determinando fases que são diferenciadas de acordo com a tecnologia predominante. Ou seja, desde o começo dessa primeira revolução industrial, a indústria de fabricação passa por avanços revolucionários e inovadores (KANG et al., 2016). Esses avanços presentes em cada uma dessas fases podem ser observados na Figura 1 a seguir:

Figura 1: Revoluções industriais.



Fonte: SANTOS et al., 2018.

Tais revoluções também são conhecidas pelo termo indústria acompanhado de numerações, dessa forma, a primeira revolução industrial, por exemplo, ficou também conhecida como indústria 1.0. Essa primeira revolução industrial ficou conhecida pela mecanização dos processos, destacando-se, por exemplo, o tear e a máquina a vapor. A indústria 2.0, por sua vez, foi marcada pela produção em escala e linhas de montagem, a eletricidade e processos movidos à combustão ganharam espaço. No final da década de 1960 surge a indústria 3.0, onde a automação de processos industriais passou a ser mais difundida, com destaque para a robótica, computadores, internet e eletrônicos. Indústria 4.0, Quarta Revolução Industrial, Tecnologias 4.0, ou apenas Transformação Digital da Indústria tornou-se o paradigma da economia global desde que o termo foi apresentado em 2011 na Feira de Hannover (GONZALEZ et al., 2021). Nesta feira, o governo da Alemanha apresentou a indústria 4.0 como uma estrutura emergente marcada pelos processos industriais e logísticos na forma de *Cyber Physical Production System* (CPPS) – sistemas ciber físicos, utilizando intensamente os recursos disponíveis globalmente por meio de uma rede de comunicações e informações visando promover um intercâmbio de informações extensamente automatizada e na qual processos de produção e de negócios são combinados (VAIDYA et al., 2018).

A indústria 4.0 é sustentada por nove pilares tecnológicos: *Big Data* e Análise de Dados, Robôs Autônomos, Simulação, Integração de sistemas horizontais e verticais, A Internet Industrial das Coisas, Segurança Cibernética, Nuvem, Fabricação Aditiva e Realidade Aumentada (RUBMANN et al., 2015).

Nesta transformação digital da indústria, a maneira como nos relacionamos e trabalhamos globalmente está sendo alterada, podemos afirmar que o mundo vive a era da hiperconectividade e da digitalização, que diariamente nos incita a provar coisas que jamais tínhamos experimentado antes. (SCHWAB, 2016). Nas organizações transformações são vividas em grande complexidade, escala e alcance, por causa das novas tecnologias que passaram a serem feitas nas atividades humanas. As dificuldades que serão enfrentadas nesta revolução servirão de fundamento para o crescimento de respostas que abrangem diversos *stakeholders* – as partes interessadas, sejam eles privados ou públicos, acadêmicos ou próprios da sociedade como um todo (SCHWAB, 2016).

1.2 Realidade Aumentada

Em 1968 a realidade aumentada surgiu pela contribuição de Ivan Sutherland que desenvolveu um capacete de visão ótica direta que apresentava rastreamento para visualizar objetos 3D no cenário real (AZUMA, 1997).

Kirner e Siscoutto (2007) afirmam que a realidade aumentada (RA) pode ser definida como o uso de algum dispositivo de tecnologia, em tempo real, visando enriquecer, com elementos virtuais, o ambiente real. Ou ainda como um sistema apto a trazer itens virtuais criados por computador para a realidade, de forma que aparentem estar no mesmo espaço, alinhados, interagindo em tempo real.

Azuma (1997) define a RA como a interação e combinação do ambiente real com elementos virtuais em tempo real, de forma que conteúdos digitais como formas 3D, imagens, sons e vídeos aparecem ao usuário em seu ambiente físico.

A RA pode também ser vista como uma evolução e mudança da tecnologia conhecida como realidade virtual (RV), onde há uma interação do usuário com uma interface gerada por computador em um ambiente tridimensional, de maneira que isso ocorra em tempo real (BARBOSA, 2018).

Esse pilar da indústria 4.0 aparece em diversos tipos de aplicações e projetos como: jogos e entretenimento, aplicações médicas, educação, operação de máquinas e robôs, treinamento militar, ambientes colaborativos, simulações (RODRIGUES, 2009).

Uma das características da RA é a portabilidade, já que sua utilização ocorre mediante a presença do usuário no ambiente onde será executada a atividade e ela fornece suporte ao movimento dos usuários (AZUMA, 1997). Levando em consideração essa portabilidade, foram desenvolvidas certas aplicações de RA para dispositivos móveis e vestíveis tais quais *tablets*, *smartphones* e *smart glasses*.

Os desenvolvimentos nesses tipos de dispositivos têm se tornado mais fáceis de ocorrerem e, com isso, a cada dia a realidade aumentada segue ganhando espaço (BOTTANI; VIGNALI, 2019).

Quanto ao uso da RA em dispositivos como *tablets* e celulares, é importante salientar que fatores como interfaces de várias formas, a limitação da manipulação por conta do uso das mãos, a movimentação do usuário e a tela pequena para a transmitir os menus e conteúdo (KO et al., 2013).

As aplicações de realidade aumentada podem fazer uso de símbolos impressos e marcadores como os *QR codes* – códigos de barras bidimensionais, que permitem que, após o seu rastreamento, as informações de certo sistema apareçam no cenário em que o usuário estiver (RODRIGUES, 2009). Outra possibilidade é que essas aplicações façam uso de recursos que pertençam aos dispositivos móveis ou de sensores (BARBOSA, 2018).

1.2.1 Realidade aumentada na indústria

As utilizações da tecnologia da realidade aumentada têm apresentado uma grande importância estando bastante presente em atividades relacionadas à segurança de processos, manutenção, controle de qualidade e montagem em linhas de produção (DI NARDO et al., 2021). Por isso a RA tem sido bastante aplicada em processos de fabricação (BOTTANI; VIGNALI, 2019).

A atuação da realidade aumentada aparece em diferentes cenários funcionando como uma ferramenta para treinamentos em fábricas, controle da produção à distância e em tempo real, manutenção de máquinas entre outros (BAUMGARTEN, 2019). Isto é, mesmo com seu uso ainda pouco difundido no Brasil, essa ferramenta tende a ser mais utilizada no futuro, para fornecer informações em tempo real aos operadores, de forma que auxilie em tomada de decisões e na melhoria de processos (APARECIDA; RODRIGUES, 2016).

Há cerca de alguns anos atrás até os dias de hoje, a RA tem sido continuamente utilizada por empresas adeptas da inovação industrial, alguns exemplos são a *General Electric* (GE), *Boing* e *Airbus* (SERVÁN et al., 2012). Essa tecnologia foi utilizada voltada ao avanço da qualidade do produto e do processo e teve como objetivo a melhoria da produtividade (HO et al., 2022).

Bottani e Vignali (2019) em seus estudos apresentaram uma revisão sistemática de literatura com uma amostra de 174 artigos científicos a respeito da utilização da RA na indústria e os resultados encontrados apontaram que os principais usos na indústria estavam relacionados às seguintes atividades: montagem, manutenção e treinamentos. Quanto aos setores industriais que apresentaram maior utilização desta tecnologia destacaram-se laboratórios, indústria de transformação e máquinas-

ferramenta (BOTTANI; VIGNALI, 2019). Estes resultados podem ser visualizados nas Tabelas 1 e 2 a seguir:

Tabela 1: Campo de aplicação em relação aos tipos de publicações.

Campo de aplicação	Artigos de Aplicação	Artigos Conceituai	Artigos de Revisão	Artigos Técnico	Total
Montagem	15	6	3	11	35
Manutenção	23	2	2	7	34
Desing de produto	11		2	4	17
Segurança	8		1	5	14
Assitência remota	6	2	1	3	12
Telerobótica/ robótica	1		3	9	13
Ergonomia	1	2	1	3	7
Treinamento/ aprendizagem	13	6	3	7	29
Controle de qualidade	3	1			4
Inspeção ou gerenciamento de instalaç	4				4
Ambiente ao ar livre	1			3	4
Seleção	3			1	4
Diagnóstico	3				3
Prototipagem	1	1		1	3
Informação	1	1	1		3
Navegação	1	1			2
2D/ 3D CAD	1		1		2
Planejamento de layout	1				1
Soldagem	1				1
Simulação de máquinas	1				1
Outros		1		1	2
Não Especificado		4	4	29	37

Fonte: BOTTANI; VIGNALI, 2019.

Tabela 2: Setor industrial em relação aos tipos de publicações.

Setor Industrial	Artigos de Aplicação	Artigos Conceituais	Artigos de Revisão	Artigos Técnicos	Total
Aeroespacial	3				3
Arquitetura, engenharia, construção e operações (AECO)	5	1		5	11
Automotivo	6	2		3	11
Plantas químicas	1				1
Eletrônicos	4	2			6
Indústria alimentícia			1		1
Calçados / roupas	2				2
Laboratórios	23	6	3	49	81
Máquina-ferramenta	7	3		2	12
Manufatura	9	2	3	4	18
Armazenagem	4				4
Nuclear/ geração de energia	4				3
Outras	1	1		1	3
Não específicas	1	3	8	5	17

Fonte: BOTTANI; VIGNALI, 2019.

1.3 Centros de usinagem

Um Centro de Usinagem (CU) pode ser definido como uma máquina que possui um dispositivo de troca das ferramentas de forma automatizada e um Controle Numérico Computadorizado (CNC) e que realiza a gestão da atuação de muitos tipos de operação em apenas um momento, um só processo sem parada. Exemplos tradicionais de centros de usinagem são os processos de mandrilagem e perfuração. Os CUs são usados para produções que ocorrem de maneira seriada de portes pequeno e médio, e mostram que geram economia para componentes produtivos de complexidade, ainda que para menores escalas produtivas (SCHEER, 1993).

Os centros de usinagem simbolizam com exatidão o desenvolvimento da engenharia ao longo dos anos, com foco nas indústrias metalúrgicas. Eles são máquinas que apresentam eficiência acurada destinada a produtos com ligas metálicas como base. Juntando com exatidão os critérios técnicos e definições de automação. Suas principais partes são: Eixo-árvore, Magazine, Acionamento, Servo Motor, Trocador, Fuso e Cabeçote (LEITE et al., 2018).

Questões que a engenharia sempre enxergou como meta estão presentes nos CUs, uma vez que é uma máquina de elevada precisão, de modo que pode praticamente fazer a substituição, somente em alguns traços, de uma linha produtiva, aos moldes antigos, inteira (ROSÁRIO, 2009). Isso se confirma baseando-se no fato de que certos centros de usinagem são capazes de comportar, de uma só vez, 250 ferramentas (LEITE et al., 2018).

Várias são as questões que devem ser consideradas antes da implantação de um centro de usinagem, tais como: o alto custo de maquinário como fresas e tornos CNC e de ferramentas de corte, brocas; o tipo de material que será trabalhado, de maneira que leve em consideração a necessidade do mercado e a viabilidade do custo benefício para a empresa; qualificação da mão de obra; gestão e monitoramento; além das questões ambientais como o correto descarte de resíduos. Há ainda a questão de que ao implantar um CU, é necessário a adoção de padrões e normas de qualidade (SOARES, 2021).

1.3.1 Processo de Usinagem

A usinagem pode ser definida como sendo um meio de fabricação mecânica, o qual realiza uma mudança no formato original das peças até que se alcance o formato desejado. Ela é apta a ser usada tanto por instrumentos manuais quanto por máquinas automatizadas (ALMEIDA, 2015).

O processo de usinagem tem como objetivo gerar forma, dimensão, acabamento ou a junção dessas opções em apenas uma peça gerando cavaco, que é parte de um material de uma peça que sai por meio de uma ferramenta de forma geométrica (FERRARESI, 1977). O mecanismo da usinagem é a retirada de parte de uma peça por meio de outros materiais mais duros e resistentes (MACHADO et al., 2011).

Em termos de importância dentro do processo de usinagem, três variáveis possuem impacto nos resultados e, por isso, se destacam, são elas: a ferramenta de corte, a retirada de cavacos e o material que será usinado. Quando essas variáveis se combinam de maneira mais adequada, o reflexo consiste em usinagens com maior precisão (PINHEIRO, 2014).

A cada dia aumentam-se as chances de alcance de um acabamento com qualidade mesmo em materiais classificados como de usinabilidade complexa, e isso deve-se ao desenvolvimento da tecnologia envolvida nos processos de peças usinadas. Eles podem ser manuais ou automáticos, assim como os que possuem comando numérico computadorizado - CNC (MACHADO et al., 2009).

O CNC é uma ferramenta que possibilita que uma máquina ou processo seja operada de maneira automática através de instruções com códigos contendo símbolos, letras e números. Máquinas com esse tipo de comando conseguem ter uma adaptação facilitada a diferentes cenários em que a produção se encontre (SENAI, 2006).

Nos últimos anos houve um considerável aumento nos investimentos em máquinas ferramentas, principalmente na tecnologia CNC, buscando diminuir os tempos gastos em atividades improdutivas. Inovações em ferramentas tornaram-se necessárias, uma vez que a estrutura fabril e o processo produtivo

na indústria como um todo apresentou melhorias, além disso, foi possível notar o aumento das condições de corte suportado pelo sistema máquina-ferramenta-dispositivo de fixação (CASTANHERA, 2015).

Torneamento e fresamento costumam ser os processos de usinagem mais conhecidos, no entanto, são vários os tipos convencionais além deles, como os seguintes: aplainamento, furação, mandrilhamento, serramento, brochamento, retificação (DE DEUS, 2015). Existem também os processos como o laser, plasma, ultra som, eletrolíticas, fluxo abrasivo, entre outros, que são mais recentes (SANTOS E SALES, 2007).

A usinagem industrial apresenta algumas vantagens e desvantagens, de maneira que Soares (2021) aponta como principais vantagens: consistência nas peças criadas; possibilidade de criar vários formatos de peças; custo acessível; precisão de acabamento; criação de peças em pequenas, médias e grandes quantidades; produções com maior velocidade. Já as principais desvantagens apontadas por Soares (2021) são: perdas de material; desgaste de ferramentas; necessidade de mão de obra especializada; gastos com materiais para refrigeração (óleos refrigerantes).

Diversos elementos, que possuem relação com os tempos de preparo de máquina, influenciam no funcionamento e no desempenho de máquinas-ferramentas CNC. Esses elementos são voltados às técnicas de programação, transferência de programas para os equipamentos, programação, escolha das ferramentas e pré-ajuste ferramental (SIMON; LIMA, 2015).

Uma peça que passa pelo processo de usinagem passa por um ciclo que é diretamente formado por cinco fases, sendo elas: colocação e fixação da peça, aproximação e posicionamento da ferramenta, corte, afastamento da ferramenta e inspeção e retirada da peça. Este ciclo também é formado indiretamente pelas seguintes fases: preparo da máquina, remoção da ferramenta para que seja substituída e recolocação e ajustagem da nova ferramenta (DINIZ et al., 1999). Cada uma dessas fases possui um tempo determinado, sendo que o tempo da preparação da máquina, frequentemente, torna-se alvo de estudos para sua própria redução.

1.4 Set up e preparação de máquinas

Todo o preparo que deve ser realizado antes do início de um conjunto de operações, isto é, cada uma das fases de preparações, parametrizações, montagens, referenciamentos, medições, correções, dentre outras várias operações que ocorrem antes que o processo produtivo comece, é definido como *set up* (TOLEDO et al., 2018).

Uma produção não seriada, sob o ponto de vista de vários gestores de grandes companhias, é considerada o grande desafio para a busca de melhorias. Por conta disso, empresas de usinagem visam constantemente inovar fazendo uso de peças e modelos diversificados e diminuir os tempos de *set up*, sempre atendendo às demandas dos clientes (SHINGO, 2000).

Empresas possuem o objetivo de diminuir o tempo gasto na atividade de setups de máquinas, de forma que esse tempo economizado seja aproveitado com mais produção (HARMON; PETERSON, 1991).

O foco das empresas de usinagem deve ser a diminuição do tempo em que a máquina fica indisponível, sendo assim, é preciso que o setup da máquina aconteça de maneira rápida e precisa. (ARONSON, 2000).

A diminuição do tempo de *set up* é uma ação que costuma a ser tomada pelos gestores de produção por ser uma medida considerada de baixo custo, rápida e fácil. Sua importância consiste em três principais motivos:

1. Reduzindo o tempo de *set up*, é reduzido também o seu custo e, sendo assim, é possibilitada a produção diária da quantidade que realmente faz-se necessária para tal dia, eliminando, dessa forma, o investimento em estoques resultante de elevados lotes;
2. Um *set up* de maior simplicidade e rapidez reduz as chances de serem cometidos erros ao regular instrumentos e ferramentas;
3. Com *set ups* menores as capacidades produtivas das máquinas aumentam; (PEREIRA, 2007).

1.4.1 Set ups em centros de usinagem

Em centros de usinagem há um tempo gasto em demasia na programação CNC realizada pelo operador, além disso ocorrem desperdícios de tempo produtivo devido a fatores como: a ausência de organização das ferramentas; a utilização desmedida do magazine ferramental que resulta em aumento no tempo de *set up*; a ausência de mecanismo técnico, como um tutorial para adaptar o trabalho às possíveis modificações; a ausência de dispositivos fixadores apropriados (ZAGNOLE et al., 2017).

Até quando se considera que qualquer processo de fabricação é realizado pela máquina, os parâmetros de início precisam ser inclusos através do operador do centro de usinagem e ele deverá seguir o script que é predeterminado às peças que serão geradas. Dessa maneira, essa inclusão acaba sendo mais passível de erro, uma vez que é realizada por um humano (LEITE et al., 2018).

1.4.2 Treinamentos para set ups em centros de usinagem

A produtividade de uma empresa pode melhorar, assim como a conservação das máquinas quando os operadores que atuam nos centros de usinagem passam por treinamentos e cursos que os capacitam de modo a tornar os *set ups* mais rápidos e executáveis mediante um padrão, de maneira que promova uma usinagem de qualidade (MOURA, 1996).

Um grande desafio para as companhias é a questão da mão de obra qualificada e isso fica ainda mais evidente quando há a contratação de novos colaboradores. Encaixá-los nas atividades de modo que estejam de acordo com as normas, padrões a cultura da empresa é algo fundamental para integrá-los ao grupo. Sendo assim, acaba se tornando indispensável o investimento não só em equipamentos, mas em treinamentos de seus funcionários (MENEGON; ZAMBARDA, 2019). Com base nisso, considerando a importância do *set up* para a produtividade na indústria, uma alternativa a se considerar é, por exemplo, o investimento em treinamentos para *set up* em centros de usinagem.

1.5 *Design Science Research*

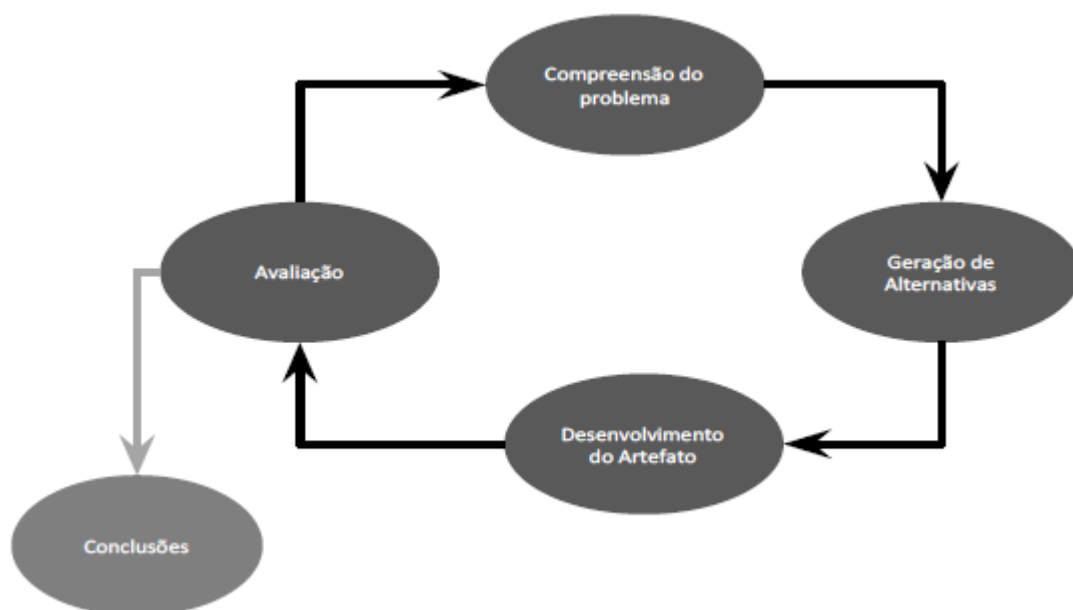
A *Design Science* – ciência do design, é formada pelos procedimentos de elaboração e análise do artefato de finalidade específica – interpreta-se por elaboração o desenvolvimento do artefato e a análise da mensuração relativa ao desempenho do objetivo ao qual é proposto e no ambiente escolhido para seu funcionamento (MARCH; SMITH, 1995). Tudo o que não seja natural, isto é, que seja feito pelo ser humano, recebe a definição de artefato (SIMON, 1996).

Neste método de pesquisa, a responsabilidade de condução da pesquisa é de um problema de natureza prática, partindo deste problema prático, outros surgirão acompanhados de questionamentos a respeito do conhecimento. Estes problemas e questionamentos geram um ciclo que regulamenta as etapas do processo de realização de uma pesquisa em *Design Science* (WIERINGA, 2009).

O ciclo do processo da pesquisa em DS tem início com a compreensão do problema, plenamente ou de maneira parcial. As compreensões que ocorrem de maneira parcial podem acontecer na DS, porque o próprio artefato pode tornar possível o incremento da definição do problema, proporcionando um novo ciclo que gere possibilidades e desenvolva o artefato. Tal ciclo pode ser feito de forma prescritiva, a partir da visão do pesquisador a respeito do problema, ou colaborativa, com participação direta de todos os participantes envolvidos. Na etapa de avaliação ocorrem as conclusões do estudo, que contrapõe a visão de deveria ser a realidade e o que a aplicação, sendo ela real ou simulada, do artefato apresentou ser provável ou possível (DOS SANTOS, 2018).

Este ciclo do processo da pesquisa em *Design Science* está representado a seguir na Figura 2 a seguir:

Figura 2: Ciclo regulador do *Design Science Research*.



Fonte: DOS SANTOS, 2018.

Pesquisas que fazem uso do método DSR devem, em seu desenvolvimento, fazer uso das sete diretrizes que foram criadas partindo do planejamento com destino à execução (DE SORDI; MEIRELES; SANCHES, 2011). Essas diretrizes estão resumidas no Quadro 1 abaixo:

Quadro 1: Diretrizes da pesquisa *Design Science*.

ITEM	DIRETRIZ	DESCRIÇÃO
1	<i>Design como um artefato</i>	O objetivo da pesquisa é construir um artefato prático independente de ser um modelo, um método ou um construto.
2	Relevância do problema	Necessidade de resolução de problemas que impactam a organização.
3	<i>Avaliação do design</i>	A eficiência e a eficácia do artefato devem ser rigorosamente demonstradas por meio de avaliação qualificada.
4	Contribuições à pesquisa	<i>Design Science</i> deve contribuir de forma clara e observável com seus artefatos em seus lócus de estudo ao ampliar os conhecimentos atuais.
5	Rigor da pesquisa	O rigor justifica-se na utilização de métodos rigorosos em todas as fases da pesquisa.
6	<i>Design como um processo de busca</i>	A busca do artefato eficiente e eficaz requer a utilização de recursos disponíveis para atingir os fins desejados, respeitando-se as regulamentações vigentes.
7	Comunicação da pesquisa	Efetuados os resultados da pesquisa realizada por meio da <i>Design Science</i> , deve-se seguir para a solução proposta. A partir dos resultados da pesquisa realizada por meio da <i>Design Science</i> , deve-se efetuar o seguimento da solução que foi orientada.

Fonte: Adaptado de De Sordi, Meireles e Sanches (2011).

Os artefatos então criados são analisados pelas seguintes metodologias científicas: Observação (estudo de caso ou estudo de campo); Analítico (Análise Estática, Análise da Arquitetura, Otimização, Análise Dinâmica); Experimental (Experimento Controlado, Simulação), Testes (Teste Funcional, Teste Estrutural) e, para encerrar, Argumentação (Argumentação e Cenários) (HEVNER et al., 2004).

No método DSR é necessário que haja a presença dos seguintes pontos: uma definição do problema objeto de estudo que esteja apropriada; uma etapa voltada ao desenvolvimento do artefato, levantamento de aspectos e particularidades do artefato; uma etapa onde seja realizado um teste; ajustes de maneira que o artefato torne-se adequado; e outra etapa de avaliação do artefato para verificar se há preocupação com o rigor na pesquisa, além de estar de acordo com o que o problema precisa (LACERDA et al., 2013). No quadro 2, a seguir, é possível observar os pontos levantados pelos pesquisadores em questão:

Quadro 2: Etapas presentes no método DSR.

ETAPA	DESCRIÇÃO
Conscientização do problema	Descrever de forma relevante e ampla o problema de pesquisa, traçando interfaces e relações com o contexto, inclusive externo
Ideação	Desenvolver uma ou mais alternativas de solução (artefatos) para o problema; evidenciar que não existe solução ótima para o problema, e o que está sendo proposto é uma solução satisfatória.
Desenvolvimento	Construir ambiente interno do artefato, algoritmos, modelos gráficos, maquetes, e o próprio artefato em estado funcional; em nível piloto
Demonstração do artefato	Analisar como o artefato se comporta no ambiente para o qual foi projetado, mostrando a relevância teórica e prática
Avaliação	Mostrar todas as etapas da pesquisa, processo de condução, justificativa das escolhas feitas, como avança o conhecimento e melhora dos sistemas organizacionais
Comunicação	Apresentar os resultados para a comunidade (o que foi feito, como foi realizado, implicações da pesquisa)

Fonte: Adaptado de LACERDA et al. (2013).

Os conceitos apresentados por Dresch et al. (2015) como os principais da ciência do design são os que estão apresentados na Figura 3 a seguir:

Figura 3: Resumo dos principais conceitos da ciência do design.

Definição de Ciência do design	• Ciência que busca consolidar o conhecimento sobre o design e desenvolvimento de soluções, melhorar sistemas existentes, resolver problemas e criar novos artefatos.
Artefato	• Algo feito pelo homem; uma interface entre o ambiente interno e o ambiente externo de um determinado sistema
Soluções satisfatórias	• Soluções suficientemente adequadas ao contexto em questão; as soluções devem ser viáveis para a realidade e não necessariamente precisam ser soluções ótimas
Classes de Problemas	• Organização que orienta a trajetória e desenvolvimento do conhecimento em o contexto da Design Science
Validade Pragmática	• Busca garantir a utilidade da solução proposta para o problema; considera: custo/benefício da solução, especificidades do ambiente em que será aplicadas e as reais necessidades dos interessados na solução

Fonte: DRESCH et al. (2015).

1.6 Heurísticas de Nielsen

Sendo proposta por Nielsen (1993), a avaliação heurística surgiu na Engenharia Econômica de Usabilidade, e abrange um pequeno grupo de avaliadores que analisam uma interface, projetada ou não, julgando suas características, em conformidade com seus conhecimentos de usabilidade ou com base em algum roteiro que tenha sido definido previamente (BRAZIL, 2017). A existência da heurística serve para a validação de certas hipóteses como: se a interface está sendo bem utilizada pelos usuários, se o design soluciona verdadeiramente um problema que tenha sido encontrado, e se os procedimentos estão sendo realizados, acertadamente, para solucionar um problema real, gerando um valor agregado para os usuários, por exemplo. Essa validação é realizada por mais de um avaliador (BRAZIL, 2017).

1.6.1 As 10 Heurísticas de Nielsen

Jakob Nielsen faz uso da avaliação heurística, como método de inspeção de usabilidade que não precisa de muito tempo para treinar e avaliar, propondo dez heurísticas para analisar interfaces segundo critérios importantes cujas definições estão intimamente associadas. (BRAZIL, 2017).

Os 10 princípios gerais usados por Nielsen (1993) para design de interação são chamados de heurísticas pois não são diretrizes de usabilidade específicas e sim regras gerais. Essas 10 heurísticas estão listadas a seguir:

1. Visibilidade do status do sistema;

O design deve sempre manter os usuários informados sobre o que está acontecendo, por meio de feedback apropriado dentro de um período de tempo razoável.

2. Correspondência entre o sistema e o mundo real;

O design deve falar a linguagem dos usuários. Use palavras, frases e conceitos familiares ao usuário, em vez de jargão interno. Siga as convenções do mundo real, fazendo com que as informações apareçam em uma ordem natural e lógica.

3. Controle e liberdade do usuário;

Os usuários geralmente executam ações por engano. Eles precisam de uma "saída de emergência" claramente marcada para deixar a ação indesejada sem ter que passar por um processo prolongado.

4. Consistência e padrões;

Os usuários não devem se perguntar se palavras, situações ou ações diferentes significam a mesma coisa. Siga as convenções da plataforma e da indústria.

5. Prevenção de erros;

Boas mensagens de erro são importantes, mas os melhores designs evitam cuidadosamente a ocorrência de problemas. Elimine as condições propensas a erros ou verifique-as e apresente aos usuários uma opção de confirmação antes de se comprometerem com a ação.

6. Reconhecimento em vez de lembrança;

Minimize a carga de memória do usuário tornando visíveis elementos, ações e opções. O usuário não deve ter que lembrar informações de uma parte da interface para outra. As informações necessárias para usar o design (por exemplo, rótulos de campo ou itens de menu) devem ser visíveis ou facilmente recuperáveis quando necessário.

7. Flexibilidade e eficiência de uso;

Atalhos - ocultos de usuários iniciantes - podem acelerar a interação para o usuário experiente, de modo que o design possa atender a usuários inexperientes e experientes. Permita que os usuários personalizem ações frequentes.

8. Design estético e minimalista;

As interfaces não devem conter informações irrelevantes ou raramente necessárias. Cada unidade extra de informação em uma interface compete com as unidades de informação relevantes e diminui sua visibilidade relativa.

9. Ajuda aos usuários para reconhecer, diagnosticar e se recuperar de erros;

As mensagens de erro devem ser expressas em linguagem simples (sem códigos de erro), indicar com precisão o problema e sugerir uma solução de forma construtiva.

10. Ajuda e documentação.

É melhor que o sistema não precise de nenhuma explicação adicional. No entanto, pode ser necessário fornecer documentação para ajudar os usuários a entender como concluir suas tarefas.

A Avaliação Heurística lista, como resultado, problemas de usabilidade localizados na interface, oferecendo sugestões para corrigir os que foram encontrados na interface e não buscando, de fato, corrigi-los. A gravidade do problema é levada em conta pela frequência, persistência e impacto do problema (NIELSEN, 1993).

1.6.2 Questionários de avaliação

Para coletar as opiniões dos usuários, os questionários de avaliação são uma alternativa viável (PREECE et al., 2005), pois, por mais que passem a imagem de um método genérico para se avaliar, eles conseguem identificar importantes informações para os desenvolvedores.

Explorando a avaliação por meio de um questionário, uma grande vantagem é a oportunidade de pedir ao usuário sugestões de melhorias para o sistema, pois elas podem orientar o Design no re-Design da interface. Observa-se ainda a vantagem de que o questionário possibilita a comparação das avaliações de diferentes participantes, uma vez que todos respondem o mesmo conjunto de perguntas. Para elaborar um questionário, diferentes repostas podem ser utilizadas como: escalas de Likert intervalos e escalas de diferencial semântico, por exemplo (BRAZIL, 2017).

2. CAMINHO METODOLÓGICO

A Metodologia escolhida para o presente estudo foi o *Design Science Research* (DSR) que, de maneira objetiva, busca focar na investigação de problemas cuja natureza é definida como prática (HEVNER et al., 2004). Este método possui como objetivo a criação de soluções para problemas que ocorrem no cenário real, formando novas percepções através dos testes por ele realizados. A orientação de cunho experimental no seu objeto de estudo torna-se causa para a delimitação da aplicação da DSR, da mesma forma pelo uso de artefatos ou protótipos, sendo eles físicos ou abstratos, usados para solucionar as questões de pesquisa.

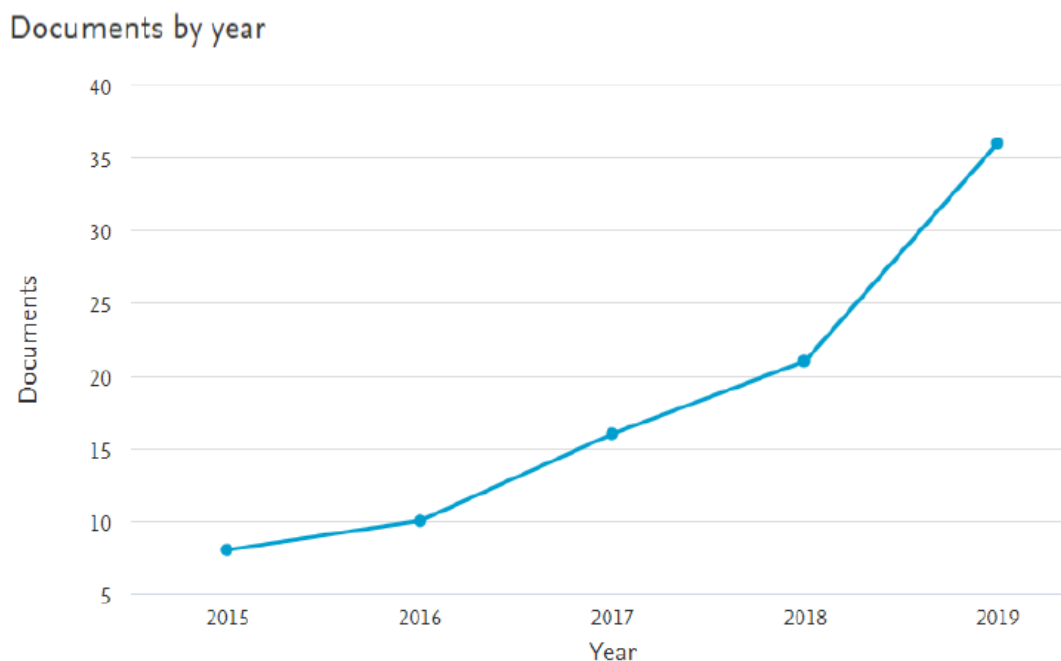
O uso do método de pesquisa *Design Science* é concordante com projetos de pesquisa que gerem um artefato visando promover melhorias no mundo real no atual momento ou futuramente, utilizado em situação de cooperação ou não com os envolvidos, de forma que a efetividade deste artefato em atingir tais melhorias o eixo do estudo (DOS SANTOS, 2018). Por isso este foi o método de pesquisa escolhido para o presente trabalho, uma vez que nele foi criado um aplicativo, que faz uso da tecnologia de realidade aumentada, para treinamento de operadores com a finalidade de executar o *set up* de um centro de usinagem em uma fabricante de linhas de envase para indústria de bebidas.

2.1 Conscientização do problema

Tendo como base essas etapas descritas no Quadro 2 apresentado na fundamentação teórica, pode-se dizer que a conscientização do problema foi realizada com base em uma análise bibliométrica, que, de acordo com Prodanov e Freitas (2013), é um instrumento usado com a finalidade de aproximar o pesquisador do material que já foi escrito sobre o assunto que será abordado em sua pesquisa. A plataforma utilizada para tal análise foi a Scopus, de maneira que foi selecionado como tipo de busca “documentos”, as palavras-chave seriam “*Augmented Reality*” e os campos de busca seriam “Título do artigo, Resumo, Palavras-chave”, retornando um total de 29799 documentos. A partir desses primeiros filtros, definiu-se que deveria ser realizada uma nova pesquisa, dentro da primeira já feita, com os termos “*Industry*” e “*Training*”, retornando 1418 documentos. Seguindo este mesmo procedimento, pesquisou-se o termo foi “*Manufacturing*”, retornando um total de documentos de 646. Posteriormente os anos foram limitados entre os anos de 2015 a 2019, além de definir como tipo de documentos “artigos” e o idioma como inglês, de forma que o resultado foi de 153 artigos. Para finalizar a utilização desses filtros em busca dos artigos que seriam objetos da análise, decidiu-se que fariam parte do estudo apenas os artigos relacionados à área de engenharia, o que trouxe o resultado final de 91 artigos para serem alvos de estudo e embasamento teórico para esta pesquisa.

Com estes 91 artigos, foi possível observar a relevância da utilização da realidade aumentada na indústria, uma vez que o número de artigos publicados ao longo dos anos sofreu uma evolução, conforme o gráfico exibido na Figura 4 a seguir:

Figura 4: Curva de evolução do número de publicações sobre RA na indústria por ano.



Fonte: Autora.

2.2 Ideação

Com as informações encontradas na análise bibliométrica apresentada no item 2.1, acompanhadas de outras que foram levantadas por meio de contato com especialistas em realidade aumentada, ocorreu a etapa de ideação, de maneira que permitiu uma primeira organização de ideias para a criação de um protótipo do aplicativo.

2.3 Desenvolvimento

A fase de desenvolvimento envolveu as seguintes seis etapas: Capacitação em realidade aumentada; escolha do cenário; escolha do perfil de usuário; formulação do roteiro da atividade escolhida; desenvolvimento do protótipo e definição da avaliação.

2.3.1 Capacitação em realidade aumentada

A pesquisadora junto com seu grupo de pesquisa buscou entendimento quanto ao uso da realidade aumentada em aplicativos por meio de vídeo aulas e conversas com profissionais que a fizeram ampliar sua gama de conhecimento a respeito do universo desta tecnologia.

Para o desenvolvimento de um aplicativo de RA é necessário a utilização de alguns softwares como, por exemplo um *game engine* e um *Softwares Development Kit – SDK*.

O conceito de *game engine* pode ser explicado como um programa de computador ou um conjunto de bibliotecas utilizado para facilitar a de criação de jogos eletrônicos e outros tipos de aplicação como realidade aumentada, tornando mais simples a criação dos seus códigos de programação.

O *Softwares Development Kit (SDK)* é um conjunto de ferramentas oferecidas geralmente pelo fornecedor de uma plataforma de hardware, um sistema operacional ou uma linguagem de programação.

2.3.2 Escolha do cenário

Após uma grande dificuldade de conseguir uma empresa que no cenário pandêmico permitisse a realização do estudo, o local escolhido para a realização do projeto foi uma fabricante de linhas de envase para indústria de bebidas, nesta fábrica foi escolhido um centro de usinagem vertical da linha Romi D1250, com as seguintes características: cabeçote de 8000 ou 10000 rpm; cone do eixo-árvore ISO 40; motor principal 22,5 cv; 16,5 kW; magazine para 30 ferramentas; mesa de 1320 x 560mm; CNC Siemens. Tal máquina pode ser representada pela Figura 5 abaixo:

Figura 5: Centro de usinagem objeto do estudo.



Fonte: ROMI (2017).

2.3.3 Escolha do perfil do usuário

Para este projeto, foi selecionado um grupo de cinco operadores para que fizessem parte da análise envolvida neste estudo. Estes cinco operadores possuem diferentes graus de experiência na atuação na máquina objeto de estudo, no entanto o foco do projeto consiste em operadores que são novos na atividade, considerando que possuem o mínimo de conhecimento prévio em usinagem para que estejam aptos a operar o aplicativo. Vale ressaltar que o usuário deve estar ambientado com a utilização de dispositivos touchscreen já que o aplicativo é para utilização em tablets ou smartphones.

2.3.4 Formulação do roteiro da atividade escolhida

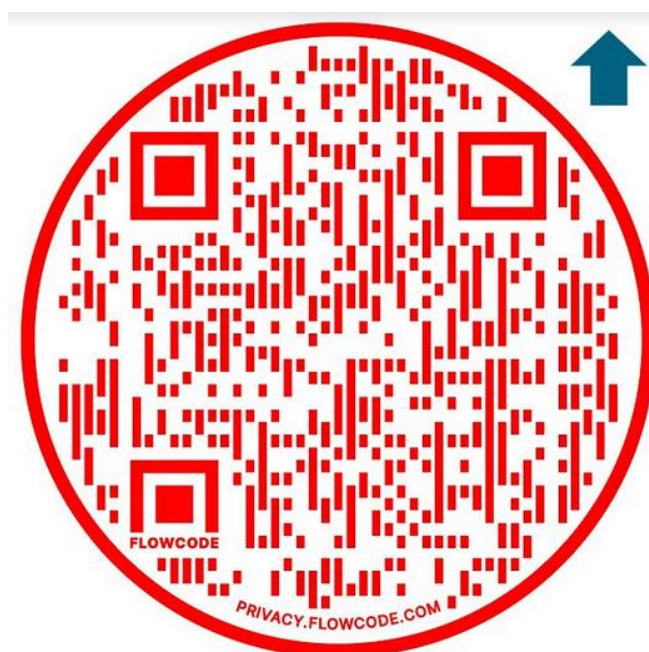
Para a criação do roteiro base para as informações que devem aparecer na tela foram escolhidos dois operadores com elevada experiência para a seleção dos passos que estão envolvidos na atividade escolhida. Esta atividade consiste no setup para uma família de eixos para fazer rasgo de chaveta. Esta atividade foi dividida em quatro partes que fazem parte dela de forma que essa divisão ficou da seguinte

maneira: alimentação das ferramentas; alinhamento das morsas; correção comprimento; tomada da origem.

2.3.5 Desenvolvimento do protótipo

O aplicativo foi pensado para ser utilizado em dispositivos móveis que possuam tela e câmera, uma vez que para o acionamento das informações é necessário que seja realizada a leitura de um QR code que deve ser impresso e colocado em baixo da tela de comando da máquina objeto deste estudo. Dessa forma, este aplicativo poderá ser utilizado por smartphones e tablets e estes devem possuir como sistema operacional o Android. O QR code que foi desenvolvido pode ser visto na Figura 6 a seguir:

Figura 6: QR code para acionar informações do aplicativo.



Fonte: Autora.

O protótipo do aplicativo deste projeto foi desenvolvido com o Unity 3D (versão 2021.2.4f1) como game engine, ou seja como um ambiente integrado para o desenvolvimento de software e o Vuforia (versão 10) como SDK, já que é um kit de desenvolvimento de realidade aumentada que possui integração com o Unity. Essa escolha foi feita, pois ambos os programas possuem os recursos que são necessários para o desenvolvimento do aplicativo do projeto, mesmo em suas versões gratuitas.

A programação e o desenvolvimento do aplicativo contaram com o apoio de um colega conhecido pelo grupo de pesquisa ao qual a pesquisadora faz parte.

A linguagem de programação utilizada no projeto foi a C#, como editor de código o software utilizado foi o Microsoft Visual Studio Community 2019.

Com relação ao engine Unity 3D, houve utilização dos seguintes componentes: Camera; GameObjects; Canvas; Buttons; Images; Panels; ScrollView; Scripts; MeshFilter e MeshRender.

Já os componentes do Vuforia que foram utilizados foram: ArCam e ImageTarget.

Como editor de imagens foi utilizado o software Photoshop CS3. Vale ressaltar que as imagens utilizadas no aplicativo possuem os formatos JPG e PNG e resoluções de 256, 512, 1024 e 2048 dpis.

Foram então definidos o nome e o layout do aplicativo, de modo que o nome escolhido foi App setup e o aspecto visual dos elementos da interface podem ser observados nas Figuras 7, 8 e 9 a seguir:

Figura 7: Tela inicial do aplicativo.



Fonte: Autora.

Figura 8: Menu inicial do aplicativo.



Fonte: Autora.

Figura 9: Tela do tutorial das atividades.



Fonte: Autora.

Após a finalização do aplicativo, torna-se fundamental a explicação de cada uma das etapas e funções existentes nele.

Para acessar o aplicativo é necessário que o usuário esteja registrado no sistema, sendo assim, deve ser realizado um cadastro de usuário. Nesse processo, o usuário informa os seguintes dados: nome, e-mail e uma senha. Antes do registro ser efetuado, são verificados se os campos possuem os caracteres de acordo com o estipulado e se as informações são válidas, no caso de estarem em conformidade com o padrão determinado, então é dada continuidade no processo, de modo que os dados informados pelo usuário são enviados ao servidor e salvos no banco de dados. Após esse armazenamento dos dados, o aplicativo retorna a informação de que o cadastro foi realizado com sucesso e assim torna-se permitido o login do usuário.

No aplicativo existe um sistema de autenticação de usuário, que verifica todas as vezes que o usuário tenta logar, de forma a garantir que ele seja utilizado apenas por pessoas autorizadas e de maneira

necessária. Essa autenticação ocorre da seguinte maneira: Quando o usuário realiza uma tentativa de login, é verificado se os campos de e-mail e senha possuem caracteres e se as informações são válidas, em caso de conformidade nessas duas opções, o processo tem prosseguimento e os dados informados pelo usuário são checados com os que existem no servidor, caso os dados correspondam com algum registro do banco, significa que o usuário existe, sendo assim, o aplicativo retorna coma informação de que o login foi feito com sucesso e, assim, é liberado o acesso ao aplicativo pelo usuário.

Quando o login é feito com sucesso, ocorre um redirecionamento do usuário até uma tela de controle de fluxo, onde aparecem as opções “TUTORIAL” ou “CHECKLIST”, de modo que é realizada a escolha para onde ele deseja ir.

Ao clicar na opção “TUTORIAL”, o usuário é levado para outra tela de controle de fluxo, onde ele escolherá o que deseja aprender: “ALIMENTAÇÃO DAS FERRAMENTAS”, “ALINHAMENTO DAS MORSAS”, “CORREÇÃO COMPRIMENTO” ou “TOMADA DA ORIGEM”. Ainda nessa opção “TUTORIAL” é permitido ao usuário seguir pelas opções linearmente ou seguindo por algum dos passos, mesmo que fora de ordem, isso é feito por meio de um menu de acesso rápido. Ou seja, a construção dessa parte, de maneira simples e objetiva, foi realizada de modo que todos os passos são colocados em uma espécie de lista e é criado uma variável de controle do tipo Inteiro (número), que indicará a posição do passo na lista (passou atual ou o que será aberto).

Para o botão “ENTENDI” foi criada uma função seguir que habilita o próximo passo, de maneira que é desabilitado o passo anterior. Nesta função um loop percorre toda a lista desabilitando, primeiramente, todos os passos, em seguida, a função soma um na variável de controle e acessa a lista no índice específico (posição informada pela “variável de controle”) habilitando, e neste ponto o usuário já está no próximo passo.

O menu de acesso rápido permite o acesso a qualquer passo e esse funcionamento é bem semelhante à função seguir porém não soma um na "variável de controle". Quando é executada a função desse menu, ela recebe um valor fixo que fica no botão que a aciona, esse valor corresponde ao passo que vai ser aberto. É, então, criada uma função acesso rápido que habilita o próximo passo desabilitando o anterior, nesta função um loop percorre toda a lista primeiro desabilitando todos os passos, em seguida a função acessa a lista no índice específico (posição informado pela “variável de controle”) habilitando, e neste ponto o usuário acessa o próximo passo.

Ao clicar na opção “CHECKLIST”, o usuário pode seguir e retornar de forma linear passo a passo, ou pode saltar para qualquer passo, através de um menu de acesso rápido. Nesta opção há uma verificação dos EPIs que são obrigatórios ao usuário que fará o setup do centro de usinagem, além disso são checadas as seguintes informações: se foi verificado qual modelo de eixo que será usinado; se o cadastro do eixo do dia foi feito, se as ferramentas que sempre costumam ser usadas na usinagem do

eixo estão presente (broca Tmax 0.12 mm, fresa topo 0.12 mm e escareador); se as ferramentas estão no posto de trabalho; se foram retiradas no almoxarifado; qual posição está livre no TAF; se as informações sobre fixação foram mostradas; se elementos de fixação das morsas foram pegos; se a limpeza da morsa foi executada; se a limpeza da mesa foi executada; se as morsas foram fixadas; se as morsas estão alinhadas; se o eixo foi colocado nas morsas; se a posição do eixo foi verificada; se cada morsa foi apertada; se foi realizada a conferência do correto aperto das morsas; se foi iniciado o processo de zeramento do eixo X; se foi iniciado o processo de zeramento do eixo Y; se foi iniciado o processo de zeramento do eixo Z ; se os parâmetros foram ajustados.

Ainda na opção “CHECKLIST”, o usuário consegue visualizar as imagens da broca Tmax, do escareador e da fresa, conforme a Figura 10 a seguir:

Figura 10: Ferramentas rotineiras.



Fonte: Autora

O funcionamento da opção “CHECKLIST” é idêntico ao da opção “TUTORIAL”. Usando um vocabulário simples, a explicação desse funcionamento é a seguinte: foi construído de forma que todos

os passos são colocados em uma lista, e é criada uma variável de controle do tipo Inteiro(número), que indicará a posição do passo na lista (passo atual ou o passo que será aberto). Para o botão “ENTENDI” foi criada uma função seguir que habilita o próximo passo desabilitando o anterior, nesta função um loop percorre toda a lista primeiro desabilitando todos os passos, em seguida a função soma um na “variável de controle” e acessar a lista no índice específico (posição informado pela “variável de controle”) habilitando, e neste ponto o usuário já está no próximo passo.

O menu de acesso rápido permite acessar qualquer passo e seu funcionamento é explicado da seguinte maneira: a função é de “Seguir para o próximo passo”, porém não soma um na "variável de controle" quando é executada, ela recebe um valor fixo que fica no botão que a aciona, esse valor corresponde ao passo que vai ser aberto. É criada, então, uma função acesso rápido que habilita o próximo passo desabilitando o anterior, nesta função um loop percorre toda a lista primeiro desabilitando todos os passos, em seguida a função acessa a lista no índice específico (posição informado pela “variável de controle”) habilitando, e neste ponto o usuário acessa o próximo passo.

Tanto na opção “TUTORIAL” quanto na opção “CHECKLIST”, o menu rápido pode ser habilitado e desabilitado pelo usuário em qualquer momento, sobrepondo tudo o que há na tela.

2.3.6 Definição da avaliação

Com a finalização do protótipo tornou-se necessária a criação de uma avaliação que permita comparar as etapas do processo da maneira como são realizadas hoje e da forma como serão realizadas após a utilização do aplicativo App Setup.

Essa avaliação permitiu a realização de comentários nas questões relacionadas ao preparo do eixo e aos ajustes de parâmetros. E a classificação de itens relacionados à atividade realizada pelo método tradicional e ao funcionamento do aplicativo, de modo que esses itens podem ser classificados como: “muito bom”, “satisfatório”, “regular” e “ruim”.

Ao avaliar o aplicativo torna-se possível validá-lo de acordo com seu funcionamento e verificar o seu desempenho, de modo que os tempos calculados mostrem se houve ou não redução do tempo gasto no setup deste centro de usinagem, ou seja, se houve ou não aumento de produtividade no processo.

2.4 Demonstração do artefato

Já na fase de demonstração do artefato foi realizado um teste em seu ambiente de utilização, a fim de verificar se as necessidades do usuário do aplicativo foram atendidas e foi demonstrada a relevância do projeto, mostrando ao operador e ao gestor, envolvidos na atividade do setup, a relevância do projeto. Ainda nesta fase, as limitações foram observadas e sugestões, advindas do operador da máquina e de alguns especialistas, foram anotadas de maneira que correções fossem feitas e a avaliação pudesse ocorrer com um maior rigor.

2.5 Avaliação

Quanto à fase de avaliação, houve a execução da avaliação relacionada à validação do aplicativo por meio de um questionário de avaliação baseado nas Heurísticas de Nielsen, com a finalidade de mostrar se ele estava funcionando e se estava apto a oferecer o treinamento aos operadores que realizavam o *set up* do centro de usinagem objeto deste estudo. Quanto à avaliação do desempenho do app, foram medidos os tempos gastos nas etapas do *set up* de modo a comprovar se houve ou não ganhos em termos de produtividade para esta atividade, ou seja, se houve ou não redução do tempo do *set up*.

2.6 Comunicação

Na etapa de comunicação os resultados foram apresentados aos operadores e ao gestor responsável pelo processo.

3 RESULTADOS (INOVAÇÃO/ INTERVENÇÃO/ RECOMENDAÇÕES)

Objetivando uma maior rigorosidade do projeto, a avaliação foi realizada duas vezes, tanto para a validação do aplicativo em quanto ao funcionamento, quanto para a verificação do desempenho quanto ao tempo gasto.

3.1 Validação do aplicativo quanto ao funcionamento

Para a validação do aplicativo quanto ao funcionamento, foi aplicado um questionário de avaliação, baseado nas heurísticas de Nielsen, neste questionário haviam os seguintes tópicos: Visualização da tela; Funcionamento do sistema; Velocidade de troca da tela; Nível de interação com o usuário; Nível de compreensão do usuário; App atende às dúvidas do usuário; App auxilia o treinamento do usuário inexperiente; Adaptação do usuário ao App; Satisfação do Usuário com relação ao App.

Estes tópicos foram respondidos com uma escala do tipo Likert, que é constituída por questões que são respondidas de maneira que a pessoa deve concordar ou não mostrando o grau de intensidade de suas respostas (CUNHA, 2007; ALEXANDRE et al., 2003). Essa escala parece com a escala de Thurstone, entretanto, Likert apresenta o grau de intensidade em suas respostas (OLIVEIRA, 2001). Originalmente, esse tipo de escala constitui-se de cinco pontos, contudo, com o passar do tempo, os pesquisadores alteraram o número de pontos usados em seus questionários e seguiram denominando como do tipo Likert (SILVA JUNIOR; COSTA, 2014).

Para responder esse questionário foram entrevistados 4 operadores com diferentes níveis de experiência com o painel do centro de usinagem objeto deste estudo e um especialista em centros de usinagem. Esse nível de experiência é apresentado por uma escala do tipo Likert conforme a Figura 11 a seguir:

Figura 11: Níveis de experiência com o painel do centro de usinagem – operadores e especialista.

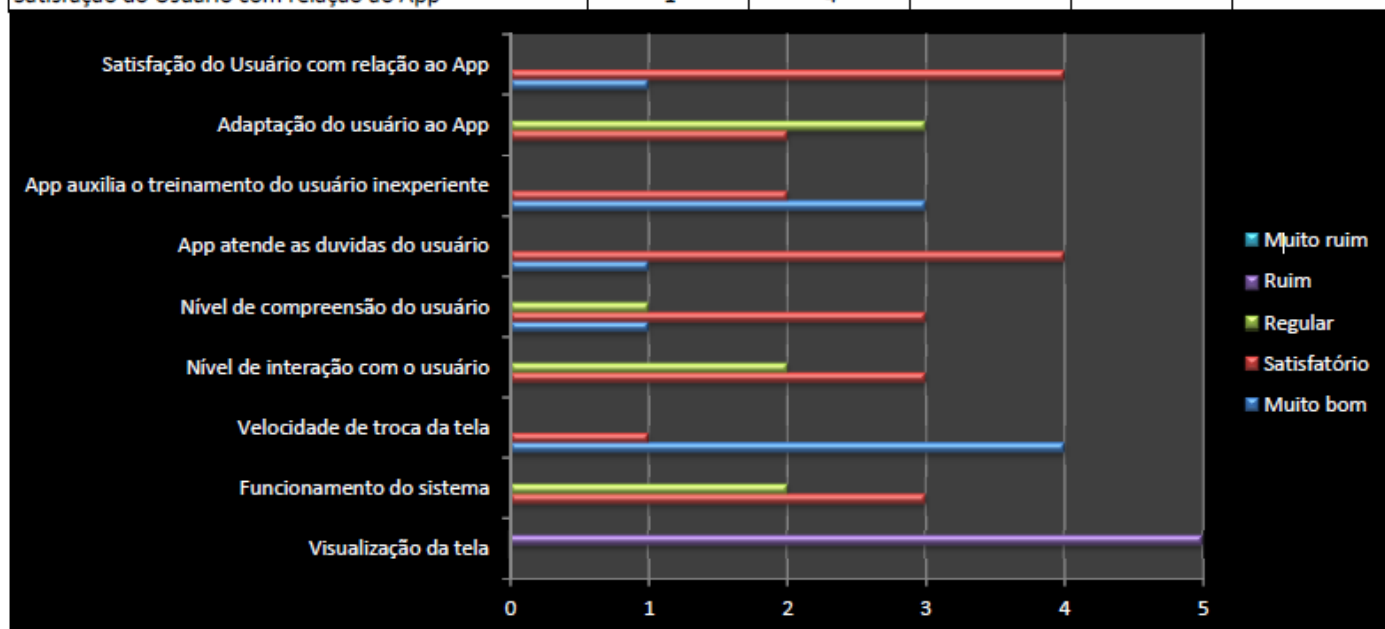
	NIVEL DE EXPERIENCIA COM O PAINEL DA MÁQUINA				
	Nenhuma	Pouca	Razoável	Satisfatória	Muita
OPERADOR A					
OPERADOR B (APRENDIZ)					
OPERADOR C					
OPERADOR D					
ESPECIALISTA					

Fonte: Autora

As respostas obtidas no questionário de avaliação aplicado aos cinco entrevistados estão apresentadas na Figura 12 a seguir:

Figura 12: Respostas questionário de avaliação – rodada1.

	Muito bom	Satisfatório	Regular	Ruim	Muito ruim
Visualização da tela				5	
Funcionamento do sistema		3	2		
Velocidade de troca da tela	4	1			
Nível de interação com o usuário		3	2		
Nível de compreensão do usuário	1	3	1		
App atende as duvidas do usuário	1	4			
App auxilia o treinamento do usuário inexperiente	3	2			
Adaptação do usuário ao App		2	3		
Satisfação do Usuário com relação ao App	1	4			



Fonte: Autora

A coleta destes dados permitiu inferir as seguintes informações: a imagem estava apresentando uma dimensão maior que a dimensão da tela e estavam ocorrendo problemas com leitura do *QR code*. Além disso, foram sugeridas melhorias nas informações na opção “CHECKLIST” e na opção “TUTORIAL”.

A visualização da tela foi bastante criticada, devido a um erro na programação do aplicativo, que fez com que fosse prejudicado o dimensionamento da imagem das informações que aparecem na

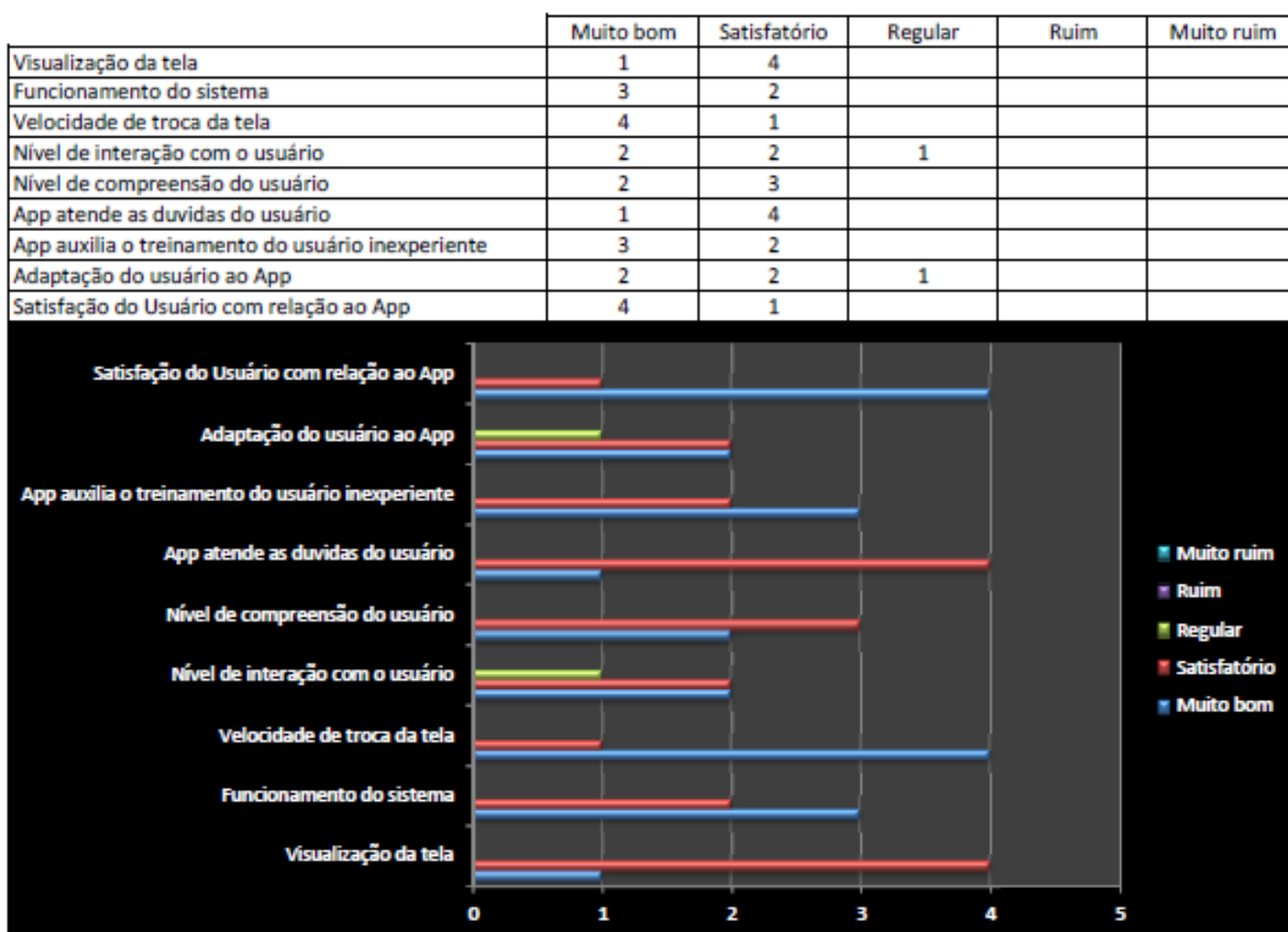
tela, pois aparecia em uma escala distorcida, de modo que era preciso que o operador se afastasse muito do centro de usinagem para conseguir visualizar as informações.

Com estes dados, foram feitas as correções no dimensionamento das imagens apresentadas na tela e do *QR code* a fim de solucionar os problemas encontrados. Foram também alterados o check list de limpeza e o tutorial do aplicativo, visando atender às solicitações dos operadores e do especialista.

A partir destas correções, foi realizada uma nova rodada de entrevistas com os mesmos entrevistados anteriormente e utilizando o mesmo questionário de avaliação. Dessa vez os resultados obtidos foram os observados na Figura 13 a seguir:

Figura 13: Respostas questionário de avaliação – rodada 2.

Fonte: Autora



Com a obtenção destes novos dados coletados foi possível obter as informações a seguir:

Antes da implementação do aplicativo, todos os entrevistados observaram a execução do preparo. Outra questão que apresentou unanimidade nas respostas foi da etapa que demandou maior

dificuldade, onde todos concordaram que foi a etapa de tomada de origem. Apenas o operador que atua na máquina objeto do estudo que avaliou como “muito bom” o item compreensão do usuário com relação ao comando da máquina e o item satisfação do usuário com relação ao método tradicional. Essas respostas permaneceram, mesmo após as alterações realizadas ao finalizar a primeira rodada de aplicação do questionário de avaliação.

Da primeira para a segunda rodada de aplicação do questionário de avaliação o item que possuiu a maior variação foram os itens que dizem respeito ao funcionamento do aplicativo quanto à visualização e ao funcionamento do sistema. No entanto, isso deve-se ao fato de que antes da primeira rodada de aplicação do questionário de avaliação houve um erro na programação do aplicativo que prejudicou o dimensionamento das imagens que apareciam trazendo informações.

Após a segunda rodada de aplicação do questionário de avaliação, o resultado que possuiu grande importância para o projeto foram os seguintes itens: nível de compreensão do usuário; app atende as dúvidas do usuário; app auxilia no treinamento do usuário inexperiente; adaptação do usuário ao app e satisfação do usuário com relação ao app. Em todos esses itens os usuários que possuíam menor experiência, quanto à atuação em *set ups* do centro de usinagem objeto deste estudo, apresentaram, mudança nas respostas partindo de “regular” e “muito ruim” para “muito bom” e “satisfatório”. Sendo assim, torna-se possível afirmar que o aplicativo é apto para realizar o treinamento de novos funcionários, uma vez que funcionários com menor experiência aumentaram seus níveis de compreensão após o uso da realidade aumentada utilizada no aplicativo.

3.2 Verificação do desempenho quanto ao tempo gasto

Almejando verificar o desempenho do aplicativo quanto ao tempo gasto foi cronometrado o tempo gasto em cada uma das etapas apresentadas na opção “TUTORIAL”: “ALIMENTAÇÃO DAS FERRAMENTAS”, “ALINHAMENTO DAS MORSAS”, “CORREÇÃO COMPRIMENTO” e “TOMADA DA ORIGEM”.

Para a coleta dos dados de tempo, participaram destes testes apenas os operadores do setor onde fica o centro de usinagem objeto deste estudo. Sendo assim, seus níveis de experiência são apresentados por uma escala do tipo Likert conforme a Figura 14 a seguir:

Figura 14: Níveis de experiência com o painel do centro de usinagem – operadores.

	NÍVEL DE EXPERIÊNCIA COM O PAINEL DA MÁQUINA				
	Nenhuma	Pouca	Razoável	Satisfatória	Muita
OPERADOR A					
OPERADOR B (APRENDIZ)					
OPERADOR C					
OPERADOR D					

Fonte: Autora

As primeiras medições de tempo foram realizadas sem a utilização do aplicativo, sendo assim, o operador que possuía nível razoável de experiência com o painel da máquina, optou por não realizar as etapas “ALINHAMENTO DAS MORSAS” e “CORREÇÃO COMPRIMENTO” por não se sentir seguro. Da mesma forma, o operador inexperiente não se sentiu seguro para realizar o *set up* da máquina sem antes fazer uso do aplicativo para ser treinado. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 16 a seguir:

Figura 15: Medição de tempo sem o uso do aplicativo.

ROTINA DO SETUP CENÁRIO ATUAL SEM TREINAMENTO COM O APP

SEM APP	OPERADOR A	OPERADOR B	OPERADOR C	OPERADOR D
ALIMENTAÇÃO DAS FERRAMENTAS (4x)	00:00:00	00:00:00	00:12:51	00:15:04
ALINHAMENTO DAS MORSAS (4x)	00:12:29	00:00:00	00:08:41	00:10:12
CORREÇÃO DE COMPRIMENTO (4x)	00:00:00	00:00:00	00:08:03	00:09:27
TOMADA DA ORIGEM (X,Y,Z)	00:15:34	00:00:00	00:07:11	00:11:57
TEMPO TOTAL SETUP	00:28:03	00:00:00	00:36:46	00:46:40

OBS.: 00:00:00 (não conseguiu executar a tarefa)

Fonte: Autora

Já as segundas medições de tempo foram realizadas com a utilização do aplicativo e os resultados obtidos estão apresentados na Figura 16 a seguir:

Figura 16: Medição de tempo com o uso do aplicativo.

ROTINA DO SETUP APÓS O TREINAMENTO COM A UTILIZAÇÃO DO APP

COM APP	OPERADOR A	OPERADOR B	OPERADOR C	OPERADOR D
ALIMENTAÇÃO DAS FERRAMENTAS (4x)	00:12:58	00:18:32	00:09:47	00:10:55
ALINHAMENTO DAS MORSAS (4x)	00:10:03	00:23:24	00:07:56	00:09:18
CORREÇÃO DE COMPRIMENTO (4x)	00:09:27	00:19:05	00:05:59	00:08:01
TOMADA DA ORIGEM (X,Y,Z)	00:13:16	00:25:41	00:05:53	00:09:33
TEMPO TOTAL SETUP	00:45:44	01:26:42	00:29:35	00:37:47

Fonte: Autora

Ou seja, os dados obtidos permitiram as seguintes constatações: os operadores que não conseguiram executar todas as etapas do set up foram capacitados pelo uso do aplicativo e os operadores que tinham níveis satisfatório e elevado de experiência com o painel da máquina apresentaram uma melhora em seu desempenho com a redução de respectivamente 19% e 20% nos tempos de execução do *set up*. Isso foi possível graças aos recursos que passaram a utilizar com o conhecimento adquirido no processo de padronização do *set up*. Além disso, falhas deixaram de ocorrer, uma vez que, os operadores que não se sentiam seguros, passaram a realizar a atividade sem erros.

Com esses resultados, torna-se possível afirmar que o aplicativo foi capaz de aumentar a produtividade da atividade desta máquina, uma vez que promoveu a redução nos tempos gastos no *set up*.

4. CONTRIBUIÇÕES PARA A ORGANIZAÇÃO E/OU SOCIEDADE

O aplicativo desenvolvido no presente estudo mostrou-se apto a treinar operadores para realizar o setup de um centro de usinagem, como o que foi utilizado como objeto deste estudo, e, também, apresentou uma redução nos tempos das etapas envolvidas no *set up*, conforme comprovado com as medições de tempo de execução sem e com sua utilização.

Com a avaliação do desempenho do aplicativo, foram comprovados tanto a diminuição do tempo para a execução do *set up*, quanto o aumento da qualidade do trabalho executado com a redução de falhas nessa atividade foram alcançados.

O estudo também promoveu o uso da tecnologia da realidade aumentada na produção industrial, já que essa tecnologia foi utilizada no aplicativo e trouxe benefícios à indústria, uma vez que a fábrica onde está localizado o centro de usinagem objeto deste estudo pôde conquistar uma ferramenta para o

treinamento de seus funcionários, de modo que não há mais a possibilidade de parada da produção deste centro de usinagem em casos onde o operador titular não comparecer ao seu posto de trabalho.

Sugere-se então que o aplicativo seja utilizado para as demais máquinas da empresa e se expanda o estudo com mais variáveis de processos, de modo que o aplicativo possa ser mais difundido na fábrica, indo assim, de acordo com a tendência global de investimentos nos pilares da indústria 4.0.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). Indústria 4.0 pode economizar R\$ 73 bilhões ao ano para o Brasil. 2017. Disponível em: <<https://www.abdi.com.br/postagem/industria-4-0-pode-economizar-r-73-bilhoes-ao-ano-para-o-brasil>>. Acesso em 20 jan. 2022.
- ALEXANDRE, J. W. C. et al. Análise do número de categorias da escala de Likert aplicada à gestão pela qualidade total através da teoria da resposta ao item. In: **ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, 23., 2003, Ouro Preto. Anais... Ouro Preto: [s.l.], 2003.
- ALMEIDA, P. S. **Processo de usinagem**: utilização e aplicações das principais das principais maquinas operatrizes. 1. ed. São Paulo: Érica, 2015.
- APARECIDA, R. da S. F., RODRIGUES, J. V. Desafios e oportunidades da indústria 4.0. 2016 Disponível em: https://simpep.feb.unesp.br/abrir_arquivo_pdf.php?tipo=artigo&evento=11&art=365&cad=24431&opcao=com_id. Acesso em: 17 jan. 2022.
- ARONSON, R. B. Presetting: Prelude to Perfection. **Manufacturing Engineering**, v. 124, n. 2, p.86-91, 2000.
- AZUMA R. T. A survey of augmented reality. Presence: teleoperators and virtual environments, Malibu, v. 6, n. 4. 1997. Disponível em:<<https://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2021.
- BARBOSA, P. G. F. **Acessibilidade em museus**: um estudo de caso para apoiar a visita espontânea de surdos com o uso da realidade aumentada. 176 f. Dissertação (Mestrado em Informática). UNIRIO, Rio de Janeiro, 2018.
- BAUMGARTEN, C. Realidade aumentada na indústria: o que está sendo feito? 2019. Disponível em: <<https://www.pollux.com.br/blog/realidade-aumentada-na-industria-o-que-esta-sendo-feito/>>. Acesso em 21 nov. 2021.
- BOTTANI, E.; VIGNALI, G. Augmented reality technology in the manufacturing industry: a review of the last decade, **IISE Transactions**, v. 51, n. 3, p. 284-310, 2019.
- BRAZIL, W. R. R. **Análise de USABILIDADE na interface de um aplicativo digital móvel: um estudo de caso**. 112 f. Dissertação (Mestrado em Design, Tecnologia e Inovação). Centro Universitário Teresa D'Ávila, Lorena, 2017.
- CASTANHERA, I. da C. **Uma contribuição ao estudo de vibração no fresamento em alta velocidade de corte do aço D6**. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica, na Área de Materiais e Processos de Fabricação). UNICAMP, Campinas, 2015.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). Competitividade Brasil. 2020. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/competitividade-brasil-comparacao-com-paises-selecionados/>>. Acesso em 15 mar. 2021.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). PQT - Investimentos em Indústria 4.0. 2018. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/competitividade-brasil-comparacao-com-paises-selecionados/>>. Acesso em 15 mar. 2021.

CUNHA, L. M. da. **Modelos Rasch e Escalas de Likert e Thurstone na medição de atitudes**. 78 f. Dissertação (Mestrado em Probabilidades e Estatística). Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2007.

DE DEUS, P. R. **Análise do processo de fresamento de MDF em centro de usinagem CNC**. 146 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica na Área de Materiais). UNESP, Guaratinguetá, 2015.

DINARDO, M. et al. A mapping analysis of maintenance in Industry 4.0. **Journal of Applied Research and Technology**, v. 19, n. 6, p. 653–675, 2021.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F.C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 1. ed. São Paulo: M M editora, 1999.

DOS SANTOS, A. **Seleção do método de pesquisa**: guia para pós-graduando em design e áreas afins. 22. ed. Curitiba: Insight editora, 2018.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JR, J. A. V. **Ciência do design Pesquisa**: Um método para ciência e tecnologia avanço. 1. Ed. Porto Alegre: Springer, 2015.

EVANGELISTA, G. M. S. et al. Estudo dos impactos sobre os resultados da produção relacionados a operação de pré-ajustagem de ferramentas em empresas de usinagem. 2017. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/publicacoes/artigo.asp?e=enegep&a=2017&c=33197>>. Acesso em: 9 mar. 2022.

FERRARESI, D. **Fundamentos Da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.

GONZALEZ, A. G.; QUINONERO, D. R.; VEGA, S. F. Assessment of the Degree of Implementation of Industry 4.0 Technologies: Case Study of Murcia Region in Southeast Spain. **Engineering Economics**, v. 32, n. 5, p. 422–432, 2021.

HARMON, R. L.; PETERSON, L. D. **Reinventando a fábrica**: conceitos modernos de produtividade aplicados na prática. Rio de Janeiro: Campos, 1991.

HEVNER, A. R.; MARCH, S. T.; PARK, J.; Ram, S. Design Science in information systems research. **MIS Quarterly**, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004.

HO, P. T. et al. Study of Augmented Reality Based Manufacturing for Further Integration of Quality Control 4.0: A Systematic Literature Review. **Applied Sciences**, v. 12, n. 4, p. 1961, jan. 2022.

KANG, H. S. et al. Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology**, v. 3, n. 1, p. 111–128, jan. 2016.

KIRNER, C., SISCOOTTO, R. **Realidade virtual e aumentada**: conceitos, projeto e aplicações. In: Livro do IX Symposium on Virtual and Augmented Reality, Porto Alegre: Editora SBC - Sociedade Brasileira de Computação, 2007.

KO, S. M.; CHANG, W. S.; JI, Y. G. Usability principles for augmented reality applications in a smartphone environment. **International Journal of Human-Computer Interaction**, v. 29, n. 8, p. 501–515, 2013.

LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 20, n. 4, p. 741-761, 2013.

LEITE, Y. G. dos S. et al. Proposta de melhoria para aumento de produtividade em um centro de usinagem. **Navus: Revista de Gestão e Tecnologia**, v. 8, n. 3, p. 113-125, 2018.

MACHADO, A. R. et al. **Teoria da usinagem dos materiais**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, v. 15, p. 251-266, 1995.

MENEGON, E. M. P.; ZAMBARDA, A. B. Percepção de colaboradores sobre as ações de treinamentos em uma indústria têxtil. **Navus: Revista de Gestão e Tecnologia**, v.9, n. 1, p. 7-20, 2019.

MOURA, M. O. de. **Controle da variação de quantidades**: atividades de ensino. São Paulo, Universidade de São Paulo, 1996.

NIELSEN, J. **Avaliação heurística**. Em Nielsen, J. e Mack, RL (Eds.), Usability Inspection Methods. John Wiley & Sons, New York, NY, 1993.

OLIVEIRA, T. M. V. Escalas de mensuração de atitudes: Thurstone, Osgood, Stapel, Likert, Guttman, Alpert. **FECAP**, v. 2, n. 2, 2001. Disponível em: <http://www.fecap.br/adm_online/art22/tania.htm>. Acesso em: 23 maio 2022.

PEREIRA, S. **Melhoria da produtividade no processo de usinagem em ferro fundido maleável preto**: um estudo de caso. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). UFSC, Florianópolis, 2007.

PINHEIRO, C. **Efeitos do teor de umidade da madeira no fresamento de Pinus elliottii**. 122f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). UNESP, Guaratinguetá, 2014.

PREECE, Jennifer; ROGERS, Yvone; SHARP, Helen. **Design de Interação**: Além da Interação homem computador. Editora Bookman, São Paulo: 2005.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do Trabalho Científico**: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico. 2a ed. Nova Hamburgo: Universidade Freevale, 2013.

RODRIGUES, C. S. C. **VisAr3D**: uma abordagem baseada em tecnologias emergentes 3D para o apoio à compreensão de modelos UML. 166 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas e Computação). UFRJ, Rio de Janeiro, 2009.

RODRIGUES, D. D. Design Science Research como caminho metodológico para disciplinas e projetos de Design da Informação. **Revista Brasileira de Design da Informação**. São Paulo, v. 15, n. 1, p. 111-124, 2018.

ROMI. Catálogo Centros de Usinagem Linha D ROMI. 2017. Disponível em: <<https://www.romi.com/produtos/linha-romi-d/>>. Acesso em: 17 fev 2022.

ROSÁRIO, J. M. Automação Industrial. São Paulo: Baraúnas, 2009.

- RÜBMANN, M.; LORENZ, M.; WALDNER M., ENGEL, P.; HARNISCH, M.; JUSTUS, J. Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. Boston Consulting Group, APRIL 2015. Disponível em: <[https://www.bcg.com / pt-br / publications / 2015 / engineered_products_project_business_industry_4_future_ productivity_growth_manufacturing _industries](https://www.bcg.com/pt-br/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries)>. Acesso em: 12 out. 2021.
- SANTOS, B. P.; ALBERTO, A.; LIMA, T. D. F. M.; CHARRUA-SANTOS, F. M. B. Industry 4.0: Challenges and opportunities. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, n. 1, p. 111-124, mar 2018.
- SANTOS, S.; SALES, W. F. **Aspectos tribológicos da usinagem dos materiais**. São Paulo: Artliber, 2007.
- SCHWAB, K. **The Fourth Industrial Revolution**. São Paulo: Edipro, 2016.
- SENAI. Apostila de torno CNC: Programação de Torno CNC Comando Fanuc 0I-TB. Escola SENAI “Roberto Simonsen”, 2006. Disponível em: < <https://dokumen.tips/documents/apostila-de-torno-cnc-senai-bras.html>>. Acesso em: 9 mar. 2021.
- SERVÁN, J.; MAS, F.; MENÉNDEZ, J.L.; RÍOS, J. Using Augmented Reality in AIRBUS A400M Shop Floor Assembly Work Instructions. **Proceedings of AIP Conference**, v. 1431, p. 633–640, 2012.
- SHEER, A. W. **CIM: Evoluindo para Fábrica do Futuro**. Rio de Janeiro: Qualitymark: 1993.
- SHINGO, S. **Sistema de Troca Rápida de Ferramentas: Uma Revolução dos Sistemas Produtivos**. 1^a ed. [s.l.] Bookman, 2000.
- SILVA JUNIOR, S.D.; COSTA, F. J. Mensuração e Escalas de Verificação: uma Análise Comparativa das Escalas de Likert e Phrase Completion. **PMKT – Revista Brasileira de Pesquisas de Marketing, Opinião e Mídia**, São Paulo, Brasil, v. 15, p. 1-16, out. 2014.
- SIMON, A. T.; LIMA, C. R. C. Computer numeric control machine tools utilization by metalworking companies in Brazil. **Int. J. Manufacturing Research**, v. 10, n. 3, p. 267-285, 2015.
- SIMON, H.A. **The Sciences of the Artificial**, MIT Press, Cambridge, MA, 1996.
- SOARES, H. H. A., **Usinagem industrial: Análise e implantação de melhorias em um centro de usinagem de equipamentos de segurança**. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica, UNIS –MG, Varginha, 2021.
- TOLEDO, L.V.; DE MORAES, M.; CORRER, I. Proposta de redução de tempo de setup em máquinas de testes de durabilidade em uma empresa fornecedora de autopeças com o uso de conceitos SMED e padronização. **Revista Gestão Industrial**, UTFPR, v.14, n. 3, p. 01-22, jul.2018.
- VAIDYA, S.; AMBAD, P.; BHOSLE, S. Industry 4.0 – A Glimpse. **Procedia Manufacturing, 2nd International Conference on Materials, Manufacturing and Design Engineering (iCMMD2017)**, 11-12 December 2017, MIT Aurangabad, Maharashtra, INDIA. v. 20, p. 233–238, 1 jan. 2018.
- WIERINGA, R. Design science as nested problem solving, **Proceedings of the 4th int. conf. on design science research in information systems and technology. Association for Computing Machinery**, Nova Iorque, v.1, p.8, 2009.
- ZAGNOLE, A. A.; NOGUEIRA, P. L.; GIACCHETTI, M. C. M. Melhoria de métodos e processos de usinagem em organização no ramo de hidráulica com produção sob encomenda. 2017. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/publicacoes/index.asp?pesq=ok&ano=2017&area=&pchave=Melhoria+de>>

+m%E9todos+e+processos+de+usinagem+em+organiza%E7%E3o+no+ramo+de+hidr%E1ulica+com
+produ%E7%E3o+sob+encomenda&autor=>. Acesso em: 09 fev. 2022.

ANEXO 1
DETALHAMENTO DO PRODUTO (CAPES)
RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO¹

Organização: Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza (CEETEPS)

PPG: Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos

Autores:

Aluno: Mayara Neves Pohlmann

Professor Orientador: Prof. Dr. Alexandre Formigoni

Dissertação vinculada (título): Realidade aumentada aplicada a treinamento e agilidade de set up em centro de usinagem.

Data da defesa: 29/06/2022

Setor beneficiado com o projeto de pesquisa, realizado no âmbito do PPG: indústria de usinagem.

A produção técnica é constituída pelo próprio produto?

Sim

Não. Qual o grau contribuição diretamente aplicada ao produto:

Excepcional; Incremental; Residual

Descrição do produto e finalidade (até 50 palavras): Aplicativo, que faz uso da tecnologia de realidade aumentada, para treinamento de operadores com a finalidade de executar o set up de um centro de usinagem.

Avanços tecnológicos / grau de novidade:

Produção com alto teor inovativo: Desenvolvimento com base em conhecimento inédito;

¹ Definição: Texto elaborado de maneira concisa, contendo informações sobre o projeto/atividade, realizada. Indica em seu conteúdo a relevância dos resultados e conclusão em termos de impacto social e/ou econômico e a aplicação do conhecimento produzido. Não se aplica a relatório de projeto de pesquisa financiados por agências de fomento

- () Produção com médio teor inovativo: Combinação de conhecimentos pré-estabelecidos;
- (x) Produção com baixo teor inovativo: Adaptação de conhecimento existente;
- () Produção sem inovação aparente: Produção técnica.

Conexão com a Pesquisa:

PPG: Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos

Projeto de pesquisa vinculado à produção: Inovação de Processos e Desenvolvimento de Produtos.

Linha de pesquisa vinculada à produção: Gestão da Produção e de Operações.

- () Projeto isolado, sem vínculo com o PPG

Conexão com a produção científica

a) Título: Realidade Aumentada na Indústria: uma Análise Bibliométrica.

Periódico: RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT

Outros dados: 2020, vol.9, n.11, páginas:e4029119675 DOI. 10.33448/rsd-v9i11.9675

Situação atual da Produção:

Coparticipante:

Nome da Empresa/Organização objeto da pesquisa: KHS Indústria de Máquinas Ltda.

Endereço: Av. Franz Liszt, 80 - Jardim Guanica – São Paulo/SP. Estado: São Paulo

Contato na Empresa/Organização objeto da pesquisa:

Nome: Miller Oliveira Ramos/ Eduardo Pereira. Cargo: programador CNC/ coordenador de planejamento de máquinas.

e-mail: miller.ramos@khs.com Tel (11) 96548-8499.

Aplicabilidade da Produção Tecnológica

[Entende-se que uma produção que possua uma alta aplicabilidade, apresentará uma abrangência elevada, ou que poderá ser potencialmente elevada, incluindo possibilidades de replicabilidade como produção técnica. Para avaliar tal critério, as características a seguir deverão ser descritas e justificadas]

Descrição da Abrangência realizada: (até 50 palavras) Setores industriais que tenham centros de usinagem em suas produções e seus operadores realizem o set up destes centros.

Descrição da Abrangência potencial: Outros setores industriais que precisem realizar treinamento de operadores que façam set ups de máquinas.

Descrição da Replicabilidade: Trabalhos e estudos que promovam o fomento do uso de realidade aumentada para treinamentos de funcionários.

Documentos Anexados (em PDF)

() Declaração emitida pela Empresa/Organização objeto da pesquisa.

 Não há concordância da empresa em divulgar seus dados.