FACULDADE IMED ESCOLA POLITÉCNICA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM ENGENHARIA CIVIL

ANA CAROLINA ZUCHETTO CANSI

DESIGN THINKING PARA A CRIAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO AUTOMATIZADA PARA CONTROLE DE ESTOQUES EM CANTEIRO DE OBRAS

PASSO FUNDO 2021

ANA CAROLINA ZUCHETTO CANSI

DESIGN THINKING PARA A CRIAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO AUTOMATIZADA PARA CONTROLE DE ESTOQUES EM CANTEIRO DE OBRAS

Dissertação presentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Civil, em sua área de concentração em Tecnologia do Ambiente Construído, Linha de Pesquisa Gestão e Desempenho da Construção, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, pela Faculdade IMED.

Orientador(a): Prof^a. Elvira Maria Vieira Lantelme – Dr(^a) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Coorientador(a): Prof^a. Thaísa Leal da Silva – Dr(^a) pela Universidade de Coimbra

PASSO FUNDO 2021

CIP - Catalogação na Publicação

C228d CANSI, Ana Carolina Zuchetto

Design thinking para a criação de uma solução automatizada para controle de estoques em canteiros de obras / Ana Carolina Zuchetto Cansi. – 2021.

83 f., il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade IMED, Passo Fundo, 2021.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Elvira Maria Vieira Lantelme. Coorientador: Prof^a. Dr^a. Thaísa Leal da Silva.

 Design Thinking. 2. Engenharia civil. 3. Construção — Automação. I. LANTELME, Elvira Maria Vieira, orientadora. II. SILVA, Thaísa Leal da, coorientadora. III. Título.

CDU: 624

Catalogação: Bibliotecária Angela Saadi Machado - CRB 10/1857

ANA CAROLINA ZUCHETTO CANSI

DESIGN THINKING PARA A CRIAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO AUTOMATIZADA PARA CONTROLE DE ESTOQUES EM CANTEIRO DE OBRAS

Dissertação apresentada ao Programa de pós-Graduação Stricto Sensu – Mestrado em Engenharia Civil – da IMED, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil no curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica I.

PASSO FUNDO 2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Elvira Maria Vieira Lantelme –

Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientadora

Prof.(a) Thaísa Leal da Silva –

Doutora em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores pela Universidade de

Coimbra - Coorientadora

Prof. Daniel de Salles Canfield – Doutor em Design pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Marcelo Fabiano Costella – Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a minha mãe Zenilda, meu padrasto Delmar e minha irmã Deisiane, por estarem sempre ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha orientadora Prof. Elvira Lantelme pelo empenho durante todo processo da dissertação e pela paciência e críticas que me fizeram evoluir como pesquisadora e pessoa.

Agradeço a minha coorientadora Prof. Thaísa Leal que contribuiu para interdisciplinaridade desse trabalho.

Agradeço aos Professores Richard Lermen e Fernando Posser que me ajudaram no desenvolvimento do protótipo e me mostraram diferentes formas de resolver o problema.

Agradeço as empresas construtoras que cederam seus canteiros de obras e funcionários que me auxiliaram em algumas etapas dessa dissertação.

E acima de tudo, agradeço a minha família pelo incentivo, amor e compreensão incondicionais.

"No meio da dificuldade encontra-se a oportunidade"

Albert Einstein

RESUMO

A Indústria 4.0 representa para o setor da Construção Civil uma estratégia para aumentar sua competitividade, por meio do aumento na produtividade e da integração das empresas a partir da aplicação de tecnologias digitais em seus processos. Visto que o setor representa um sistema sociotécnico complexo, a coleta e o compartilhamento de dados do canteiro de obras pode se tornar um problema. Há evidências na literatura que tal problema pode ser resolvido com apoio de tecnologias de automação. Porém, ainda existem muitas dúvidas sobre a utilização, forma de implementação das tecnologias e seus benefícios reais no setor da Construção Civil. O objetivo principal desse estudo foi desenvolver uma solução automatizada e de baixo custo para controle de materiais em canteiro de obras, com base na experiência do usuário. Para isso foi utilizado o método Design Science Research com algumas ferramentas do método Design Thinking a fim de envolver os usuários no desenvolvimento do protótipo e poder avaliar as suas percepções frente a novas tecnologias de automação. A revisão de literatura demonstrou alguns estudos com casos de aplicação de tecnologias em canteiros de obras e algumas dificuldades encontradas, com essas informações foi possível modelar o método de modo a transpor essas dificuldades. Ao final pôde-se desenvolver um protótipo de solução automatizada para estoque e constatar que com o envolvimento dos colaboradores na discussão dos problemas por eles enfrentados e na criação da solução, estes se tornam mais suscetíveis a aceitar e utilizar as transformações tecnológicas. Com isso conclui-se que as ferramentas do Design Thinking são eficazes para desenvolvimento de soluções de automação para canteiro de obras.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Automação; Automação na Construção; Design Thinking.

ABSTRACT

Industry 4.0 represents for the construction industry a strategy for greater competitiveness, through increased productivity and the integration of companies through the application of digital technologies in their processes. Since the sector represents a complex sociotechnical system, the collection and sharing of data from the construction site can become a problem. There is evidence that such a problem can be solved with the support of automation technologies. However, there are still many doubts about how to implement the technologies and their real benefits in the Construction sector. The main objective of this study was to develop an automated and low-cost solution for materials control at construction sites, based on user experience. For this, the Design Science Research method was used with some tools of the Design Thinking method in order to involve users in the development of the prototype and to be able to assess their perceptions regarding new automation technologies. The literature review, some studies with cases of application of technologies in construction sites and some difficulties encountered, with this information it was possible to model the method in order to overcome these difficulties. In the end, it is possible to develop a prototype of an automated solution for stock and verify that with the involvement of employees in discussing the problems they face and in creating the solution, they become more susceptible to accepting and using technological transformation. Thus, it is concluded that Design Thinking tools are effective for developing solutions for construction sites.

Palavras-chave: Industry 4.0; Automation; Automation in Construction; Design Thinking.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ganho de produtividade com a digitalização	14
Figura 2 - Componentes da Indústria 4.0	31
Figura 3 - Etapas do Design Thinking	37
Figura 4 - Modelo de processo do Design Science Research (ciclo do DRS)	42
Figura 5 - Delineamento da pesquisa	45
Figura 6 - Planta de implantação da obra	47
Figura 7 - Armazenamento de conexões hidráulicas pequenas	53
Figura 8 - Armazenamento de conexões hidráulicas grandes	53
Figura 9 - Planilha de controle	58
Figura 10 - Montagem dos elementos	61
Figura 11 - Plataforma de pesagem	61
Figura 12 - Template serviço web	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Necessidades e desafios para os SCF de colaboração	29
Tabela 2 - Perfis dos atores-chave	54
Tabela 3 - Orçamento RFID	59
Tabela 4 - Orçamento para automatização com sensores	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tomada de decisão em função do nível de automação	20
Quadro 2 - Relação entre o Design Science Research e o Design Thinking .	46
Quadro 3 - Blueprint de Serviços	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

APR Automação de Processos Robóticos

AVGS Veículos guiados automaticamente

BD Big Data

CRISPR-Cas Sensores de ácido nucleico

DT Design Thinking

DSR Design Science Research

EU Experiência do Usuário

IA Inteligência Artificial

IDEF-SIM Integrated Definition Methods

IoT Internet of Things

PMPF Prefeitura Municipal de Passo Fundo

RFID Sensores, transmissores ou radiofrequência

RSWs Redes de sensores wireless

SCF Sistemas Ciber-físicos

SMF Sistema de Manufatura Flexível

TI Tecnologia de informação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	
2. DELIMITAÇÃO E JUSTIFICATIVA	17
3. OBJETIVOS	18
4. AUTOMAÇÃO	19
4.1 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL	21
4.2 AUTOMAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL	24
5. SISTEMAS CIBER FÍSICOS	28
5.1 COMPONENTES DE UM SISTEMA CIBER FÍSICO	30
5.1.1 Entidades físicas: sensores	31
5.1.2 Camada de rede: redes wireless	32
5.2 DESAFIOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE TECNOLOGIAS	34
6. DESIGN THINKING	36
7. EXPERIÊNCIA DO USUÁRIO	39
8. MÉTODO DE PESQUISA	41
8.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA	41
8.2 DESIGN SCIENCE RESEARCH E DESIGN THINKING	43
8.3 DELINEAMENTO DA PESQUISA	44
9. RESULTADOS E ANÁLISE	51
9.1 CONSCIENTIZAÇÃO	
9.1.1 Imersão preliminar	51
9.1.2 Imersão em profundidade	54
9.1.3 Análise e síntese	54
9.2 SUGESTÃO E DESENVOLVIMENTO	58
9.2.1 Ideação	58
9.2.2 Prototipação	60
9.3 AVALIAÇÃO	63
9.3.1 Avaliação do produto e percepções dos usuários	63
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
10.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	65
10.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O MÉTODO DE PESQUISA	66
10.3 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	67

REFERÊNCIAS	68
APÊNDICE A	77
APÊNDICE B	79

1. INTRODUÇÃO

As empresas, dos mais diversos setores, precisam de constante atualização e reconfiguração de suas práticas para manter sua competitividade no mercado. Atualmente, tem-se a possibilidade de implementar novas tecnologias que podem levar as empresas a patamares bastante diferentes dos tradicionais. Trata-se de conceitos difundidos dentro da chamada quarta Revolução Industrial (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016).

A primeira Revolução Industrial ocorreu no século 18, com a produção mecânica movida a fumaça e água. A segunda Revolução (século XIX), apresentou linhas de montagem de produção em massa, necessitando mais volume de mão de obra e energia elétrica. A revolução seguinte (século XX), trouxe a produção automatizada, utilizando eletrônicos e tecnologias da informação (TI). Essa nova Revolução é um conceito mais profundo, que pode envolver tanto a digitalização quanto a digitização¹. Esse último termo refere-se a uma grande transformação tecnológica que está ocorrendo nas empresas e pode ser entendida como uma forma de integração entre sistemas digitais, mecânicos e de automação (OZTEMEL, GURSEV, 2018).

A indústria 4.0, reconhecida pela transformação digital, gerou uma reformulação nos processos de produção, os quais agora devem ser realizados pela convivência dos sistemas industriais de ponta a ponta (GHOBAKHLOO, 2020; NAKAGAWA et al., 2021). A quarta revolução industrial está modificando sobretudo a maneira como as pessoas vivem e trabalham, e o público demonstra otimismo em relação às possibilidades que o sistema pode oferecer para a digitalização e oportunidade de sustentabilidade (GHOBAKHLOO, 2020). Não é somente uma questão de automação ou colocar um robô no ambiente da fábrica, e sim uma mudança total de como a indústria deve ser organizada e como os trabalhadores precisam ser aperfeiçoados para acompanhar essa evolução (NAKAGAWA et al., 2021).

¹ A digitalização refere-se ao uso da tecnologia digital, e provavelmente da informação digitalizada, para criar e colher valor de novas maneiras (GOBBLE, 2018).

O conceito 4.0 nasceu na Alemanha, utilizado pela primeira vez durante a Feira de Hannover em 2011 na qual foi apresentado um projeto de alta tecnologia para 2020, e surgiu o termo e os conceitos da Indústria 4.0 (KAGERMANN et al., 2013). O termo é derivado do alemão "Industrie 4.0" (VOGEL-HEUSER; HESS, 2016). Desse modo, o principal objetivo do sistema alemão era diferenciar as empresas da Alemanha, o que gerou interesse de outros países no projeto (MORRAR, ARMAN E MOUSA, 2017). Os mesmos autores indicam que, a partir do Fórum Econômico Mundial, em 2016, a Indústria 4.0 foi associada a rápidos avanços tecnológicos, capazes de causar grandes transformações socioeconômicas, popularizando o termo e gerando ainda mais interesse internacional. Somado a isso, estas transformações estão causando a quebra de alguns paradigmas da sociedade, com o surgimento de novas formas de comunicação, compartilhamento de informações, modo de trabalhar, pensar e agir (SCHWAB, 2016).

Dentro do sistema 4.0, a digitalização é o processo mais simples, através do qual dados e informações são passados do meio físico para o digital. Isso possibilita que o seu armazenamento ocorra de forma concentrada em pequenos espaços, permitindo que sejam facilmente armazenadas, manipuladas, transferidas e exibidas, aumentando o alto grau de interação entre usuários e informações (BRENNEN; KREISS, 2016). Diferente da digitalização, a digitização faz a fusão dos meios físico e digital. Esse processo gera uma transformação mais profunda nas práticas das empresas, pois insere novos processos gerenciais, sistemas e meios de colaboração (GOBBLE, 2018). Nesse processo, há uma coleta de dados sobre o que se encontra no chão da fábrica ou ambiente de trabalho, sobre o que se encontra fora do ambiente de trabalho, sobre a cadeia de suprimentos e, também sobre os clientes. Cria-se então, um conjunto de dados que possibilitam um outro tipo de automação que permite obter agilidade e flexibilidade no que o cliente precisa e quando ele irá precisar (DI et al., 2017). A digitização centraliza diferentes mídias, ou seja, produz um meio que consolida diversas formas de informação, fazendo convergência da infraestrutura material da comunicação, que se refere à rede física de hardware, que sustenta todas as redes de comunicação (BRENNEN; KREISS, 2016).

Dentro do sistema 4.0, há possibilidade de sensorizar o chão da fábrica, canteiro de obras ou ambiente de trabalho com o intuito de saber o que se tem no ambiente de trabalho e como as tecnologias podem trabalhar integradas para

melhorar esse ambiente (DI et al., 2017). Cria-se um Big Data (BD), no qual é possível visualizar os dados com o intuito de facilitar a tomada de decisão. Desse modo, os computadores interligam-se entre si com materiais e máquinas inteligentes, e interagem com o ambiente devendo ter a capacidade de tomar decisões com o mínimo de envolvimento humano. No BD, a tomada de decisão ainda é do ser humano, mas passa a ter auxílio de uma inteligência artificial. Essa inteligência artificial também precisa ser capaz de antecipar o que o cliente vai precisar (GILCHRIST, 2016).

Diferentemente das anteriores, a quarta Revolução Industrial não trata apenas da indústria em si, mas se refere a uma transformação geral possível com a aplicação da integração digital e engenharia inteligente. Isso gera um novo modo de fabricação no qual as máquinas aprendem, comunicam-se entre si e executam funções individuais (MUHURI; SHUKLA; ABRAHAM, 2019). Neste contexto da Indústria 4.0, surgem novas áreas de estudo e conceitos inovadores como: sistemas ciber-físicos (SCF) e de manufatura, *Internet of Things* (IoT), indústria e fabricação inteligente, redes sem fio, indústria de semicondutores, computação em nuvem, sistemas baseados em energia e eficiência energética, engenharia automatizada, interface homem-máquina, realidade aumentada e virtual, computação visual e inteligência artificial (MUHURI; SHUKLA; ABRAHAM, 2019).

A Indústria 4.0 representa para a Indústria da Construção Civil, uma oportunidade de maior competitividade por meio do aumento na produtividade e da integração das empresas (CHEN; SOTO; ADEY, 2018). A ideia é desenvolver cada vez mais a digitização, a automação, e aumentar do uso das tecnologias para processamento de um número maior de dados coletados transformando-os em informações úteis à gestão (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016). Na Construção Civil, o compartilhamento de dados e informações pode ser um problema, visto que se trata de empreendimentos que possuem muitos estágios, envolvem uma quantidade grande de recursos humanos, com diferentes especialidades em diferentes áreas, e estes precisam interagir e cooperar para executar as várias etapas do projeto (NASCIMENTO; SANTOS, 2003; CHASSIAKOS, SAKELLAROPOULOS, 2008).

O setor deve aproveitar os progressos tecnológicos que possibilitam o uso e criação de novas ferramentas para manipulação desta grande quantidade de dados, tornando os processos da Construção Civil mais eficientes e possibilitando a

otimização do compartilhamento dessas informações com todos os envolvidos de forma simultânea (MARQUES; 2010).

No que diz respeito a utilização de novas tecnologias, a Indústria da Construção Civil permanece atrasada com relação a outros setores como, por exemplo, indústrias de manufatura e setor financeiro (NIELSEN; HASSAN; CIFTCI, 2007). O setor da Construção é composto, em sua maioria, por empresas de pequeno e médio porte que enfrentam crescentes desafios de concorrência global, dispondo seus poucos recursos para manterem-se competitivos e, desta forma, o setor justifica seu atraso tecnológico (REZGUI; ZARLI, 2006; CHEN; SOTO; ADEY, 2018).

Dentre os setores industriais, a Construção Civil, caracterizada por baixa produtividade, deve modificar essa realidade através da digitização de seus dados, visando a Indústria 4.0. Thinking Act (2016) apresenta os resultados de uma pesquisa com a percepção dos gerentes do setor da construção sobre o potencial da digitalização em diversas áreas (Figura 1). Neste trabalho, os gerentes tinham quatro tecnologias para escolher em quais dos cinco setores citados estas poderiam contribuir. Conforme mostra a Figura 1, os resultados levaram à conclusão de que os setores da Produção e Construção poderiam ter muitos ganhos em produtividade com a automação.

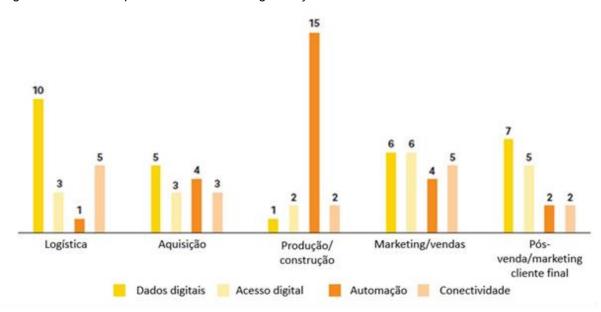


Figura 1 - Ganho de produtividade com a digitalização

Fonte: Traduzido de Thinking: Act (2016).

A aplicação da automação em canteiros de obras, com o uso, por exemplo, de tecnologias de sensores, computação móvel e os métodos de rastreamento, tem se desenvolvido rapidamente nas últimas décadas, tornando os métodos de coleta e comunicação de dados cada vez mais econômicos e seguros (SOLEIMANIFAR et al., 2014). No entanto, o setor da Construção é formado por diversos intervenientes e nem sempre os interesses são os mesmos entre os diferentes empreendimentos. As produtoras de materiais para a Construção Civil, por exemplo, tendem a focar mais na digitização dos processos e distribuição, enquanto as empresas de Construção mantêm o foco direcionado ao planejamento, construção e logística. Isto demonstra que a Indústria está ciente da importância da digitização, mas está tendo dificuldades com a sua implementação (THINKING: ACT, 2016).

Provavelmente, o motivo principal que gera dúvidas sobre a aplicação ou não da automação de processos na Construção Civil, segundo Chen, Soto e Adey (2018), é a falta de padronização nas estimativas de custos e benefícios para análise da viabilidade no uso da automação. Isto gera muitas dúvidas na tomada de decisão, visto que, independentemente do tamanho da empresa, a questão financeira é entendida como o principal fator de risco e a maior parte do setor é formada por pequenas e médias empresas que estão com seu foco na busca por maior competitividade de mercado.

Como afirmam Rezgui e Zarli (2006) o setor da Construção Civil toma a maioria das decisões de negócios focando em custos e benefícios rentáveis, e, negligencia o aspecto humano para entender a aplicação de tecnologias no canteiro de obras. Há falta de investimentos em treinamento, pesquisa e desenvolvimento de soluções direcionados aos usuários, ainda que o setor seja de uso massivo mão de obra, e os níveis de motivação e satisfação no trabalho serem fatores críticos para melhora do ambiente organizacional. Com isso, tem-se uma falta de entendimento em relação às necessidades dos usuários das tecnologias aplicadas no ambiente de trabalho (REZGUI; ZARLI, 2006).

Torna-se importante, portanto, identificar como as tecnologias digitais podem ser utilizadas para solucionar problemas em canteiros de obras e o porquê de não estarem sendo aceitas ou plenamente utilizadas. Busca-se, para isso, respostas na Experiência do Usuário que, de acordo com Santoso e Schrepp (2019), pode ser

entendida como sendo critérios de qualidade e usabilidade subjetivos dos usuários durante a interação com tecnologias.

Focando na Experiência do Usuário, tem-se ferramentas do Design Thinking (DT). Brown (2008) indica que o DT é voltado para soluções inovadoras, podendo ser aplicado a diferentes disciplinas e desafiando métodos clássicos de gestão. Trata-se de uma forma dinâmica de resolver problemas imaginando o mundo por diferentes perspectivas (colegas, clientes e usuários). Bonini e Sbragia (2011) mostram que o método do DT gera resultados positivos no desenvolvimento e implantação de soluções inovadoras, visto que as ferramentas provenientes do método possibilitam entendimento do contexto do problema e geração de ideias totalmente focadas no usuário e suas necessidades

Aplicando o DT a um determinado problema estudado, desenvolve-se um protótipo que será testado em situações reais, sempre que possível, pois a Experiência do Usuário (UX) sempre depende do contexto. Para validar o método de avaliação aplicado aos participantes, esses usuários precisam utilizar o produto durante o estudo e são observadas as interações destes com o protótipo. Na indústria em geral, especificamente no desenvolvimento de produtos, deve-se considerar os principais requisitos para realizar esta avaliação. A avaliação não deve necessitar de muitos recursos e ser, relativamente, fácil de usar. Alguns exemplos de métodos de avaliação de UX que funcionam com produtos industriais são os estudos de laboratório com mapas mentais, entrevista retrospectiva e investigação contextual (ROTO; OBRIST, VÄÄNÄNEN-VAINIO-MATTILA, 2009).

2. DELIMITAÇÃO E JUSTIFICATIVA

No setor industrial em geral e, de forma muito importante, na Indústria da Construção Civil, um grande problema é a falta de controle e de monitoramento que geram interrupções no fornecimento de materiais. Esses eventos podem causar atrasos significativos e resultam, muitas vezes, em excedentes no orçamento e cronograma (SNYDER et al., 2015; LEONTARIS et al., 2019). Desta forma, autores, como Soleimanifar et al. (2014), Fang et al. (2016) e Moon et al. (2018), indicam que dados sobre o posicionamento e o rastreamento de materiais e/ou ferramentas, em tempo real, são muito importantes para o monitoramento e controle da obra podendo levar ao cumprimento dos objetivos propostos no projeto em termos de custo e cumprimento de cronograma.

Frente a este importante problema, no setor da construção, em relação a disponibilidade de recursos, Vähä et al. (2013) apontam que o uso de sensores tem facilitado a evolução das tecnologias de automação para monitoramento e controle aplicadas diretamente no canteiro de obras. Chen, Soto e Adey (2018) salientam que as tecnologias de automação apoiadas por sensores têm se mostrado muito eficientes para resolver problemas no canteiro de obras, como por exemplo o desperdício e localização de materiais. Sistemas como esses proporcionam informações precisas e em tempo real e, frente a outras tecnologias disponíveis, têm a característica de serem de mais simples implementação devido a seus menores custos. Este avanço tecnológico, segundo Schwab (2016), é caracterizado pela utilização de sensores progressivamente menores, mais potentes e acessíveis, conectados por uma internet cada vez mais rápida e difundida, na qual pode ocorrer o aprendizado automático.

Frente às vantagens apresentadas, torna-se importante investigar, como as tecnologias disponíveis podem ser mais e melhor utilizadas no setor da Construção, principalmente pelas pequenas e médias empresas. Desta forma, é preciso estudar novas formas de implementação voltadas para todos os usuários das tecnologias, para assim, entender suas percepções sobre os avanços tecnológicos, sejam elas positivas ou negativas.

3. OBJETIVOS

O objetivo geral desse trabalho é desenvolver uma solução automatizada e de baixo custo para controle de materiais em canteiro de obras, com base na experiência do usuário utilizando o método de Design Thinking.

São objetivos específicos da pesquisa:

- Identificar o potencial e as restrições de diferentes tecnologias digitais para a automação do controle de materiais dentro do canteiro de obras;
- Aplicar o método do Design Thinking como forma de criação e desenvolvimento de tecnologias digitais para aplicação em canteiro de obras; e
- Entender as percepções dos usuários frente a uma solução automatizada por meio da sua experiência no uso e implementação no canteiro de obras.

4. AUTOMAÇÃO

Os conceitos de automação, trabalho mecanizado e trabalho automatizado existem a décadas. Groover (2019) afirma que a automação é a aplicação de máquinas a tarefas antes realizadas por humanos ou a tarefas impossíveis de serem executadas de outra forma. Diferente da mecanização (simples substituição do trabalho humano por máquinas), a automação implica na integração de máquinas em um sistema autônomo.

Frohm et al. (2008) definem a automação como sendo a mecanização e integração da detecção de variáveis ambientais, ou seja, o uso de dispositivos mecânicos ou eletrônicos, conectados entre si, para substituir em parte ou totalmente o trabalho humano. Para isso, o sistema deve interpretar e gravar dados, tomar decisões e apresentar informações.

As tecnologias de automação evoluíram a partir do campo relacionado à mecanização, que teve seu início na primeira Revolução Industrial. Já no século XX, ocorreram desenvolvimentos significativos em vários campos: computador digital, melhorias nas tecnologias de armazenamento de dados e *softwares* para programação, avanços nas tecnologias de sensores e a derivação de uma teoria de controle matemático. O desenvolvimento de todas essas tecnologias contribuiu muito para o progresso da automação (GROOVER, 2019).

Conforme o desenvolvimento das tecnologias de automação avançam, as tarefas automatizadas exigem menos atenção e intervenção humana. Isso permite que os humanos se concentrem em outras atividades, aumentando a produtividade (JANSSEN et al., 2019). Porém, Vähä et al. (2013) salientam que os sistemas automatizados não devem ser uma cópia do trabalho humano, mas devem ser aprimorados por planejamento, engenharia, gerenciamento e treinamento de mão de obra.

Existem riscos potenciais durante a tomada de decisão por qual investimento optar e qual nível de implementação tecnológica de automação adotar (CHEN; SOTO; ADEY, 2018). Os patamares de automação podem ser entendidos em função do nível das tomadas de decisão realizadas pelo processo automatizado ou por seu operador (PARASURAMAN; SHERIDAN; WICKENS, 2000). O quadro 1 apresenta as opções do mais alto ao mais baixo grau de automação.

Quadro 1 - Tomada de decisão em função do nível de automação

Grau	Tomada de Decisão – o computador:
10	decide tudo, age autonomamente, ignorando o operador humano
9	decide se informa ou não o humano sobre a ação a ser tomada
8	informa o humano somente se requisitado
7	executa automaticamente e então necessariamente informa o humano
6	permite ao humano um tempo restrito para vetar a ação antes da execução
6	automatizada
5	executa a sugestão se o humano aprovar
4	sugere alternativa
3	afunila as seleções para algumas poucas
2	oferece um pacote completo de alternativas de decisão/ação
1	não oferece nenhuma assistência: o operador humano deve tomar todas as
	decisões e ações

Fonte: traduzido de Parasuraman, Sheridan e Wickens (2000).

Muitas indústrias ainda são semiautomatizadas. Isto significa que ocorre o compartilhamento de tarefas, controle e autoridade entre o humano e a máquina e esses se complementam. Com o aumento do nível de automação, há aumento da complexidade da produção, o que pode resultar em baixo desempenho do sistema. Nesses casos, avanços tecnológicos computacionais são necessários para atingir os objetivos da automação (FROHM et al., 2008).

Superados os desafios para implementação da automação (como, por exemplo, a falta de maturidade no uso de informação, investimentos da empresa e competição econômica), pode-se melhorar a colaboração entre os *stakeholders*² e reduzir, não só o tempo necessário para conclusão das tarefas, mas aumentar a eficiência, e facilitar a resolução de problemas dentro das empresas (CHEN; SOTO; ADEY, 2018).

Sendo os atores humanos componentes de um sistema de automação, devese considerar a "Ironia da Automação". De acordo com Bainbridge (1983), a Ironia da Automação, diz que a introdução da automação pode mudar radicalmente a percepção e as ações das pessoas em um determinado contexto. As pessoas não apenas reduzem seu trabalho quando uma tarefa ou parte dela é automatizada, mas

 $^{^{\}rm 2}$ Uma pessoa ou grupo que tem um investimento, participação ou interesse em algo, como um negócio ou indústria.

usam estratégias diferentes para execução de um mesmo serviço. Tais estratégias devem ser bem estudadas para garantir as vantagens propostas pelos sistemas.

Frohm et al. (2008) afirmam que os avanços tecnológicos devem ser combinados com treinamentos das habilidades dos profissionais para atingir os objetivos de automação desejados. Bock (2015) salienta que indústrias como, por exemplo, a Construção Civil, na qual existe baixo investimento em qualificação da mão de obra, possuem mais dificuldades na implementação da automação e isto resulta em um atraso tecnológico e produtividade decrescente nas últimas décadas. É necessário entender que a indústria 4.0 não visa a substituição do ser humano, mas sim impulsionar e melhorar a qualidade das tarefas que só o ser humano pode fazer. Como é o caso do trabalho realizado por Tsuruta, Miura e Miyaguchi (2019) no Japão. Os autores estudaram a implementação de um robô móvel para marcação de pisos de acesso livre em um canteiro de obras, a fim de melhorar a produtividade do trabalho na construção pois a escassez de operários da construção no Japão tornou-se um grande problema social.

4.1 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Com os avanços da Indústria 4.0, tem-se uma nova abordagem de produção que desenvolve e insere tecnologias digitais na indústria. Isto permite a automação completa dos processos industriais e comerciais (MISTRY et al., 2020).

A palavra "automação" foi introduzida por volta de 1946 na indústria automobilística para descrever o uso crescente de dispositivos de controle automáticos na linha de produção. O termo abrange todos os sistemas industriais em que há uma substituição significativa de esforço e inteligência humana por ações, mecânicas, elétricas ou computadorizadas. Consequentemente, os sistemas de automação, tornam-se cada vez mais sofisticados e complexos, apresentando níveis de capacidade e desempenho que ultrapassam as habilidades humanas (GROOVER, 2019).

Na automação industrial, vários dispositivos são interconectados para monitoramento e controle, estes formam as fábricas inteligentes (SHARIF; HUANG, 2019). Tal conexão é possível por meio de dispositivos inteligentes, como por exemplo, telefones e *tablets*, que uma vez conectados à internet, permitem que os

usuários interajam com os sistemas e/ou processos automatizados em tempo real (JANSSEN et al., 2019).

Com o desenvolvimento das máquinas motorizadas, aumenta a necessidade de dispositivos de controle para aproveitar a força da máquina (GROOVER, 2019). Os dispositivos de infraestrutura como sensores, redes e cabos, são, geralmente, usados para distribuir instruções de controle, coleta de dados e colaboração das aplicações industriais. As plataformas digitais onde é feito o controle é a parte mais importante para o controle contínuo e estável da automação industrial (SHARIF; HUANG, 2019). Estas plataformas buscam aumentar a eficiência e diminuir as interrupções das operações (ZHANG et al., 2018). Desse modo, há melhor utilização do tempo, ganho de produtividade e aperfeiçoamento de qualidade como consequências diretas da digitalização dos processos manufatureiros (ASHIMA et al., 2021).

Para acompanhar o desenvolvimento da automação, outras tecnologias precisaram ser desenvolvidas. A robótica, um exemplo dessas tecnologias, é o ramo especializado da automação mais usado na automação industrial, no qual a máquina automatizada possui características antropomórficas ou humanas. A característica mais típica de um robô moderno é o braço mecânico automatizado. Este pode ser entendido como um manipulador multifuncional reprogramável projetado para seguir, por exemplo, uma sequência pré-definida na movimentação de materiais, ferramentas e alocar peças de montagem (GALIN; MESHCHERYAKOV, 2019).

De acordo com Groover (2019), atualmente as aplicações de robôs automatizados na indústria podem ser divididas em três categorias:

- (i) manuseio de materiais: incluem transferência de materiais e carregamento e descarregamento de máquinas, substituindo o trabalho braçal humano;
- (ii) operações de processamento: o robô manipula uma ferramenta para executar um processo na peça de trabalho, por exemplo, soldagem a ponto, soldagem a arco contínuo e pintura *spray*; e
- (iii) montagem e inspeção: o uso de robôs para montagem se justifica pela substituição dos altos custos com mão de obra humana, como os robôs são reprogramáveis, pode-se produzir diferentes produtos em lotes. Para a inspeção, o robô posiciona um sensor em relação à peça de trabalho e determina se condiz com as especificações.

Ribeiro et al., (2021) ao estudarem a Automação de Processos Robóticos (APR) e inteligência artificial na indústria 4.0 relatam que a APR tem inúmeras vantagens em termos de automação de processos organizacionais e de negócios. Aliada a estas vantagens, a utilização complementar de algoritmos e técnicas de Inteligência Artificial (IA) permite melhorar a precisão e execução dos processos de APR na extração de informação, no reconhecimento, classificação, previsão e otimização de processos. A automação é realizada com a ajuda de robôs de softwares ou trabalhadores via IA que permitem realizar com precisão tarefas repetitivas.

Já Li et al. (2020) estudaram a forma como a automação é aplicada nos processos de produção e os seus efeitos nas diferentes indústrias na China, comumente conhecidas como indústrias têxteis, de informação, eletrônicas e fábricas de eletrodomésticos. Em uma das fábricas estudadas, contendo entre 5 a 10 mil funcionários, o processo de automação iniciou com sistemas de produção intensivos direcionados para mão-de-obra e segurança. Nesse sistema, a produção foi beneficiada em 200% com uma redução de 60% dos custos. Já em outra indústria, que continha 5188 funcionários, observou-se que a adesão de linhas de montagens automatizadas, tornou o processo no qual os materiais eletrônicos eram produzidos, mais seguros, meticulosos e econômicos, fazendo com que cerca de 1000 funcionários pudessem serem substituídos.

Outro exemplo comum da automação industrial é a aplicação nas linhas de produção. Uma linha de produção automatizada consiste em uma série de estações de trabalho conectadas por um sistema de transferência para mover as peças entre as estações. Cada estação é projetada para realizar uma parte específica do processo, de forma que o produto seja construído gradativamente conforme avança. As peças entram em uma extremidade da linha, passam pelas estações necessárias e saem na outra extremidade como um produto pronto (GROOVER, 2019). Em uma empresa de fabricação de equipamentos de máquinas, Li et al., (2020) observaram que com a adoção desse sistema produção automatizado em uma indústria que possuía até 1000 funcionários, a automação ampliou a produtividade no trabalho para cinco peças por pessoas, uma vez que a adoção do sistema diminuiu a força de trabalho e reposição de mão-de-obra.

Já um Sistema de Manufatura Flexível (SMF) se distingue de uma linha de produção automatizada pois várias máquinas-ferramentas são conectadas por um

sistema onde todos os aspectos são controlados por um computador central. Ou seja, ele possui a capacidade de produzir mais de um estilo de produto simultaneamente, a qualquer momento, cada máquina do sistema pode estar processando um tipo diferente de peça (GROOVER, 2019).

4.2 AUTOMAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O gerenciamento moderno da construção exige informações atualizadas, relevantes, precisas e em tempo real do canteiro de obras. Mas, ainda, utiliza-se muito o trabalho manual, dividindo o foco dos colaboradores entre coleta e compartilhamento de informações com suas atividades de produção. Desta forma, aumenta o tempo de resposta e de tomada de decisão (ZAVADSKAS, 2010).

De acordo com Saidi, O'Brien e Lytle (2008), a automação na Construção Civil está focada nos processos, seja nos projetos, nos canteiros de obras ou na préfabricação de componentes. Este campo de pesquisa e desenvolvimento, neste setor, se baseia nos princípios já difundidos da automação industrial (SAIDI; O'BRIEN; LYTLE, 2008). Zavadskas (2010) aponta que uma das maiores dificuldades de implementação da automação, na Construção Civil é entender a lógica exata a ser seguida visto que o ciclo de vida de uma construção e seu ambiente constituem um sistema sociotécnico complexo³.

Tsuruta, Miura e Miyaguchi (2019) comentam sobre a necessidade de automação do canteiro de obras como solução para a escassez de mão de obra que vem acontecendo em países mais desenvolvidos. Segundo os mesmos autores, com o uso de tecnologias automatizadas para coleta e comunicação de informações, os trabalhadores podem se concentrar na produção, aumentando assim a sua produtividade.

Como exemplos de equipamentos bastante utilizados, pode-se citar instrumentos de medição, como scanner, trena e níveis a laser e a estação total, que estão presentes na maioria dos canteiros de obras (VÄHÄ et al., 2013; TSURUTA; MIVAGUCHI, 2019). Em fase de desenvolvimento, tem-se, também, monitoramento remoto, uma aplicação da IoT, que é possível com o uso de sensores,

³ Sistema que engloba diferentes pessoas e áreas do conhecimento para funcionar.

transmissores ou radiofrequência (RFID) (SCHWAB, 2016). Essa tecnologia permite fazer o rastreamento e conhecer o posicionamento de materiais e/ou ferramentas em tempo real no canteiro de obras (SOLEIMANIFAR et al., 2014; MONTASER; MOSELHI, 2014; FANG et al., 2016).

Os projetos de construção consomem uma quantidade considerável de recursos e financiamento, desse modo, o controle de custos e estoque é um processo essencial para atingir o sucesso do projeto e aumentar seu valor. O problema da localização de materiais no canteiro de obras continua sendo um desafio universal, como armazenar esses materiais e a possibilidade de melhorias e facilidades de acesso (FANG et al., 2016; LI; WHANG; 2021).

Ge e Zang (2020) ao estudarem um modelo de controle de estoque adaptativo baseado em uma rede neural difusa em um ambiente incerto, relatam que o gerenciamento de estoque é sempre o problema central das empresas. Um estoque organizado pode melhorar a velocidade de resposta das empresas ao mercado, reduzir o risco de escassez e encurtar o tempo de entrega dos produtos uma vez que adquirir produtos acima do que será utilizado também gera problemas e aumenta custos (GE; ZANG, 2020). Nesse mesmo trabalho, os autores propuseram um modelo de controle de estoque adaptativo baseado em rede de sensores difusa sob ambiente incerto, com o objetivo de controlar o real estoque presente no ambiente através do rastreio, sendo possível observar e rastrear a produção-estoque, rastrear em tempo real o destino do que estava estocado e produto final e, também, rastrear com velocidade as futuras necessidades do ambiente.

Desse modo, na construção civil, observa-se que o a quantidade de produtos estocados é afetada regularmente por eventos não esperados, como falta de precisão na quantidade de materiais necessários, falhas mecânicas, greves e outros casos internos ou distúrbios externos fazendo com que o sistema de estoque sob os métodos de controle clássicos possa se tornar instáveis ou insuficientes (GE; ZANG, 2020). Klein e Correio (2021) também relataram a ocorrência de erros nos métodos de controle e recebimento e estocagem de materiais, controle de serviços assim como colapsos nos sistemas de alimentação de estoques e produtos em falta em um canteiro de obras em Florianópolis (Santa Catarina/Brasil). Entre os problemas relatados somam-se também a inexistência de um sistema de alimentação automática e qualificação por parte dos fornecedores de materiais e serviços, além da rapidez no

setor de compras. Os autores relataram que apesar de o setor de compras ser ágil na empresa, isso não era suficiente devido a burocracia para adquirir os produtos que torna o processo lento. Observa-se que a solicitação de compra é realizada somente quando se acabam os estoques pela falta de comunicação com antecedência entre os trabalhadores.

Araujo; Avelino; Araujo (2018) analisaram a compatibilidade entre o planejamento e o controle no processo de execução de obras de edificações verticais realizando um estudo multicaso na cidade de João Pessoa no estado da Paraíba/Brasil, com o objetivo de identificar se as empresas construtoras realizam o planejamento e o controle de custos e estoques dos seus empreendimentos. No estudo de caso, foram pesquisadas 10 empresas, os resultados demonstram que todas as empresas realizam o planejamento e o controle de custos dos seus empreendimentos, no entanto, não há compatibilidade entre planejamento e controle e, consequentemente, não podem ser utilizados na tomada de decisões pelos seus gestores. Os autores ainda relatam que só o controle de materiais, estoque e distribuição foi realizado por todas as empresas pesquisadas, sendo a responsabilidade deste do almoxarife e dos estagiários. Esse controle se resume a anotações das quantidades distribuídas, com seus respectivos locais de aplicação, e estocadas.

Mussolini (2019) usou a técnica de Aplicação de Mapeamento IDEF-SIM (Integrated Definition Methods) a fim de identificar e observar os desperdícios em uma empresa do ramo da Construção Civil, destacando entre eles o desperdício envolvendo o controle de estoque. O autor sugeriu a utilização de um sistema que controle e possibilite uma visão de todo o processo desde a entrada da matéria prima na obra até a concepção do produto final, e, com isso, possíveis desperdícios poderão ser detectados durante o mapeamento das etapas da obra. Entre os desperdícios encontrados uma das sugestões de melhoria abrangeu o desperdício do tipo estoque que ocorre no controle de produção da armação de aço final, há problemas para identificar com antecedência o fim do estoque bem como na fabricação da armação.

Com o desenvolvimento da indústria inteligente e os sistemas cyber-físicos correspondentes, veículos guiados automaticamente (AVGs) podem concluir tarefas enquanto se comunicam entre si e com o console de controle pelas redes *wireless*.

Estes podem substituir os seres humanos na realização de trabalhos em áreas perigosas e/ou de difícil acesso (CAI et al., 2016).

Utilizando diversos estudos como base, Moon et al. (2018) realizaram um experimento com um sistema de rastreamento assistido por RFID, em laboratório e em uma empresa fornecedora de andaimes na Austrália. O objetivo foi testar a eficiência do sistema de rastreamento, quando aplicado no fornecimento de ferramentas. O experimento teve resultados positivos, provando a eficiência do sistema, aumento da produtividade e do monitoramento no controle da obra.

Como pode-se observar a necessidade de informações em tempo real do canteiro de obras vem se tornando cada vez mais necessária para um bom planejamento e controle de obras. Existem diversos estudos sobre formas de automatizar o canteiro de obras, porém tem-se a lacuna de o porquê essas tecnologias de automação não estão sendo usadas em larga escala na indústria da construção civil e qual a melhor forma de desenvolver soluções personalizadas a cada caso e implementá-las nas obras.

5. SISTEMAS CIBER FÍSICOS

Um Sistema Ciber Físico (SCF) é a integração de processos físicos e de computação. Computadores e redes embarcadas⁴ monitoram e controlam processos físicos, geralmente com *loops* de *feedback*, nos quais os processos físicos interferem nos cálculos computacionais e vice-versa (LEE; SESHIA, 2016).

A Indústria 4.0 envolve a coordenação e comunicação de diferentes dispositivos ou componentes físicos que formam os sistemas cyber-físicos, dispostos em diversos pontos da instalação industrial (VERGHESE; TANDUR, 2014). Nesse contexto, a capacidade computacional e de comunicação das infraestruturas e sistemas existentes, exige novos paradigmas de integração e colaboração. Diferentes possibilidades de adaptação e autonomia são necessárias para tornar os sistemas inteligentes, as redes de sistemas precisam ser transparentes, com todos os pontos de coleta de dados conectados e eficazes (ZHUGE, 2012).

A principal característica dos Sistemas Ciber Físicos (SCF) tradicionais é existir uma lógica implementada em uma única unidade de controle digital, estando diretamente relacionados os valores detectados e atuados, por exemplo, o valor da posição de um objeto físico e o valor da força atuante sobre ele convergem para a mesma unidade de controle. Já os novos SCF, necessitam interação e colaboração dos recursos computacionais, por exemplo, um automóvel que fecha os vidros das janelas automaticamente quando as portas são bloqueadas (MOSTERMAN; ZANDER, 2015b).

Segundo Mosterman et al. (2015a), o novo conceito de SCF é entendido como uma nova geração, ou paradigma, para os sistemas de controle atuais. Além do sistema de controle resiliente⁵, com interfaces geradas automaticamente pelos SCF tradicionais, a nova geração de SCF necessita um sistema de controle centralizado, com reconhecimento de contexto completo e que ofereça configurações inovadoras

⁴ Um sistema embarcado (ou sistema embutido) é um sistema microprocessado no qual o computador é completamente encapsulado ou dedicado ao dispositivo ou sistema que ele controla (GANSSLE, 2003).

⁵ Um sistema de controle resiliente é um sistema projetado e operado de uma forma que mantenha um nível aceitável de normalidade operacional, em resposta a distúrbios e eventos indesejáveis, minimizando as consequências e com a possibilidade de restauração (BASTAN et al., 2018).

para possíveis mudanças corretivas (MOSTERMAN; ZANDER, 2015a). A **Erro! Fonte** de referência não encontrada.1 mostra as necessidades e os desafios correspondentes dos novos Sistemas Ciber Físicos para colaboração.

Tabela 1 - Necessidades e desafios para os SCF de colaboração

Necessidade	Desafio
Design de comportamento emergente	Planejamento colaborativo, orientação e controle
Compartilhamento de dados	Arquiteturas multirateamento
	Extrair e derivar valor específico de informações
	gerais
Compartilhamento de funcionalidade	Funcionalidade multiuso pós-implantação
	Interação de recursos
Teste de funcionalidade colaborativa	Geração de suite de teste sistemática e
	avaliação de teste automatizada
	Reprodução dos resultados do teste sob
	incerteza mínima

Fonte: traduzido e adaptado de Mosterman e Zander (2015b).

A arquitetura comum de um SCF compreende modelos de processos físicos e de *softwares*, plataformas de comunicação e redes. O ciclo de *feedback* entre processos físicos e cálculos, abrange sensores, atuadores, dinâmica física, computação, programação de *software* e redes com atraso de contenção e comunicação (PUTNIK et al., 2019).

Em outras palavras, um SCF é um tipo especial de um conjunto de sistemas com diferentes graus de autonomia que alcançam objetivos comuns enquanto se adaptam a determinado ambiente (PARK et al., 2018). Modelar esses sistemas é um desafio que exige a inclusão de engenharia de controle, engenharia de *software*, redes de sensores e, também, envolvem um grande número de componentes heterogêneos (LEE, 2008).

Atualmente, os SCF não são apenas mais sensores e atuadores e suas conexões, mas, são um conjunto de unidades autônomas, que não precisam estar integradas para cooperarem, e, essencialmente, permitem instigar a reconfiguração dinâmica ou programação, buscando um ambiente de TI resiliente e adaptável (PUTNIK et al., 2019).

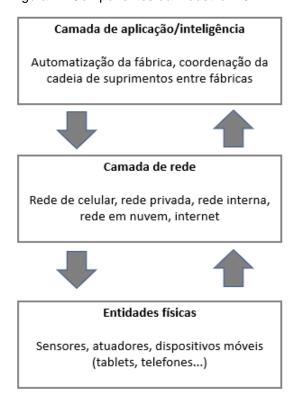
Para formar um SCF, os sistemas físicos, computacionais, dinâmicos e os baseados em humanos precisam ser representados e correlacionados, onde o contexto, o campo de informações, a reorganização dinâmica, o *loop* em tempo real e o *feedback* entre qualquer uma das entidades que compõe o sistema devem ser considerados (DERLER; LEE; SANGIOVANNI-VINCENTELLI, 2011).

Existem duas abordagens para modelar um SCF: meios analíticos e os lógicos. Os meios analíticos focam nos componentes do sistema e fornecem pouco suporte para problemas de conceituação e configuração à nível do sistema. Por sua vez, os meios lógicos, geralmente, operam com abstrações de vários níveis e não consideram os atributos e propriedades dos componentes ou do sistema como um todo (LEE, 2008).

5.1 COMPONENTES DE UM SISTEMA CIBER FÍSICO

Na Figura 2, Verghese e Tandur (2014) mostram os três principais componentes que formam os Sistemas Ciber-Físicos, dentro do contexto da Indústria 4.0. A camada de aplicação/inteligência abrange várias aplicações de automação que acompanham a cadeia de suprimentos de diferentes fábricas. A camada de rede consiste nos centros de armazenamento e processamento de dados. Esta camada divulga e transporta as informações necessárias para os aplicativos em tempo real. A rede permite a coordenação de diferentes entidades físicas, pessoas e serviços, sendo a troca de informações possível entre pessoas, pessoas e coisas ou entre coisas. Para isso são necessários protocolos que garantam a comunicação eficiente, confiável, segura e com autocorreção. A camada de entidade física adquire e calcula dados de tecnologias de identificação e localização, sensores, tecnologias inteligentes incorporadas de vários sensores e atuadores implantados em campo (VERGHESE; TANDUR, 2014).

Figura 2 - Componentes da Indústria 4.0



Fonte: Traduzido de Verghese e Tandur (2014).

5.1.1 Entidades físicas: sensores

Define-se por sensor, um dispositivo capaz de reconhecer e replicar com exatidão o estímulo no qual é submetido. Existem diferentes tipos de sensores como: presença, posição, óptico, velocidade, aceleração, temperatura, pressão entre outros (THOMAZINI, 2020), é um dispositivo apto a responder a estímulos físicos (calórico, luminoso, sonoro, pressional, magnético, motor) e transmite um impulso (mensurável ou operante) correspondente (HOUAISS, 2009). Por isso, são extremamente importantes em um sistema de produção para operação da Internet das Coisas e os Sistemas Cyber-Físicos (VÄHÄ et al., 2013; MUELLER; CHEN; RIEDEL, 2017). A utilização de sensores torna-se cada vez maior e mais acessível à medida que eles ficam menores, mais inteligentes, mais baratos e de fácil conexão através da internet, aproximando o mundo físico ao virtual (SCHWAB, 2016).

Os avanços relacionados a tecnologias de sensores forneceram diversos dispositivos de medição. Tais dispositivos podem ser usados como componentes em sistemas de controle de *feedback* automáticos. Um exemplo comum de sistema de

feedback automático é o termostato usado para regular a temperatura dos ambientes. Nesse sistema os sensores enviam dados sobre a temperatura do ambiente e o sistema decide se liga ou não o aquecimento do local automaticamente para atingir uma temperatura previamente definida (GROOVER, 2019).

Com a adição de sensores aos processos, os custos de transação e os riscos associados a segurança de dados aumentam. Uma possível solução para controlar os custos e diminuir os riscos, é que cada sensor se comunique com os demais (MISTRY et al., 2020). Considerando isso, as principais questões são como interligar os diversos pontos, onde há coleta de dados, e fazer a transmissão de informações (MUELLER; CHEN; RIEDEL, 2017).

Desse modo, a ampla disponibilidade de sensores permite com que esses sejam utilizados em diversas áreas como saúde, agricultura, indústria espacial, construção civil entre outras (FU et al., 2019; KOCAK; GERSBACH, 2018; PASCU et al., 2017; VALERO et al., 2017).

Na área da saúde, Kocak and Gersbach (2018) desenvolveram sensores de ácido nucleico, conhecidos como sistemas CRISPR-Cas, capazes de proteger bactérias de ataques virais. Essa característica permite desenvolver ferramentas portáteis capazes de diagnosticar a presença de vírus no organismo humano a baixo custo. Na área da saúde, mas visando o bem-estar na construção civil, Valero et al., (2017) estudaram um novo sistema baseado em sensores vestíveis para fornecer informações rápidas ao movimento realizado pelos trabalhadores no canteiro de obras com o intuito de explorar a questão postural e reduzir futuras contraturas e lesões musculares sofridas por eles. Os autores relatam que com uma análise biomecânica através de sensores, foi possível reduzir e prevenir lesões no trabalho. Na agricultura, o uso de biosensores vem ajudando os produtores a desenvolverem uma agricultura sustentável. Os biosensores nanoestruturados como são denominados, ajudam os produtores a obterem análises de solo e alimentos mais rápidas, eficazes e principalmente, econômicas (ANTONACI et al., 2017).

5.1.2 Camada de rede: redes wireless

Um dos objetivos da Indústria 4.0 é aumentar e melhorar a coordenação e comunicação de diversos dispositivos, dispostos em diferentes locais. Muitas fábricas

ainda utilizam redes compostas por cabos para conectar os dispositivos, porém, as soluções *wireless* estão ganhando força à medida que são de mais fácil implementação e escalabilidade, especialmente para grandes áreas de cobertura, e, também, são mais adequadas para locais remotos e/ou difícil acesso para fios. Desta forma, a comunicação *wireless* desempenha um papel fundamental na habilitação das tecnologias que buscam a colaboração (VERGHESE; TANDUR, 2014).

Em geral, as várias ramificações das redes de informações contêm diversos nós⁶ comuns, cada um com uma função primária de detectar parâmetros físicos (como, por exemplo, temperatura, umidade, voz, luz) (LI et al., 2017). Os sensores precisam estar conectados à internet para propiciar o monitoramento e controle inteligente em tempo real. Com o aumento dos requisitos para colaboração de máquinas e frequentes trocas de informações, é necessário a construção de redes de comunicação confiáveis dentro das empresas. Assim, muitas indústrias estão optando pelas redes de sensores *wireless* (RSWs) para essas tarefas. Sendo um *link* de comunicação onipresente, as RSWs podem fazer a comunicação, em tempo real, de diversos dispositivos e, assim, atingir eficiência na cooperação (CAI et al., 2016).

Pode-se citar, entre as vantagens das RSWs, o aumento de flexibilidade e de mobilidade e, a inexistência de cabeamento. Isso se torna importante para o desenvolvimento da Indústria 4.0 e das fábricas inteligentes (LI et al., 2017). Um exemplo de novas tecnologias para transmissão de dados que consideram os requisitos da Indústria 4.0 é a quinta geração de padrão de rede celular (5G), esta considera os requisitos de comunicação máquina-máquina e dados gerados por humanos. De acordo com Osseiran et al. (2014) os requisitos são:

- a) latência: é necessário ter links de baixa latência nos aplicativos de controle e segurança;
- b) ponto de acesso: com uma conectividade máquina-máquina massiva, o ponto de acesso deve suportar todos os dispositivos de campo;
- c) bateria: com a vida útil da bateria maior que 10 anos, muitos sensores e atuadores difíceis de alcançar podem ser conectados;

⁶ Qualquer sistema ou dispositivo conectado a uma rede pode ser chamado de nó. Por exemplo, se uma rede conectar um servidor de arquivos, cinco computadores e duas impressoras, haverá oito nós na rede. Cada dispositivo na rede possui um endereço de rede, que identifica cada dispositivo de maneira exclusiva.

- d) confiabilidade: devem ser feitas aplicações de proteção e controle de segurança; e
- e) sistemas de taxa de dados altos: são necessários para as empresas que têm todas as suas operações mantidas e controladas por uma presença virtual.

5.2 DESAFIOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE TECNOLOGIAS

Existem diversos desafios para o desenvolvimento da Indústria 4.0, no Brasil, e a Confederação Nacional da Indústria (2016) cita como as seis principais:

- Investimentos em equipamentos para incorporar as tecnologias;
- Adaptação de layouts;
- Adaptação de processos;
- Adaptação das formas de relacionamento entre as empresas de toda cadeia produtiva;
 - Criação de novas especialidades; e
 - Desenvolvimentos de competências.

Os autores Chassiakos e Sakellaropoulos (2008) salientam que, especificamente na Construção Civil, há inúmeras variedades de especialidades, formação educacional, habilidades profissionais, conhecimentos de computador e diferentes ambientes de trabalho entre as equipes de projeto, além de, normalmente, existir distância entre a sede da empresa e o canteiro de obras. Todos esses fatores dificultam a comunicação da equipe e, consequentemente, a implementação de novas tecnologias, principalmente no canteiro de obras.

Oesterreich e Teuteberg (2016) citam que as dificuldades decorrentes da digitização de dados na Construção Civil são decorrentes da complexidade, incertezas, cadeia de suprimentos fragmentada, pensamento a curto prazo e cultura arraigados e que estas são as principais barreiras a serem quebradas. Marques (2010) concorda com as vantagens que existem na utilização das tecnologias no setor, mas indica um lado negativo deste processo: a resistência dos gestores em se atualizar. Esses acreditam que o resultado seria a substituição de antigos problemas por novos,

passíveis ou não de simples soluções, e que podem não apresentar os resultados econômicos esperados no final do processo.

Scheer (2017) avalia o medo que os gestores têm de perder autoridade ao introduzir um novo modelo de negócios com foco no uso novas tecnologias, visto que o sucesso deles é baseado na experiência e habilidades já adquiridas, e, desta forma, a recusa por novos modelos de negócio aumenta. Bock (2015) salienta que até mesmo em países desenvolvidos, devido ao envelhecimento natural da população, a dificuldade de implementar mudanças aumenta, assim como a de encontrar profissionais qualificados e habilitados a aprender e utilizar as inovações propostas. Em relação à disseminação de tecnologias aplicadas à construção e ao canteiro de obras.

Conforme exposto acima, investimentos em adaptações aos processos e desenvolvimento de competências, tanto por parte dos colaboradores quanto dos gestores, são necessários e bastante citados na literatura. Com isso, faz-se necessário entender as perspectivas, em um estudo de caso, sobre todos os envolvidos nos processos de implementação e utilização de tecnologias digitais na Industria da Construção Civil. Para isso, tem-se meios para a avaliação da experiência do usuário durante todo desenvolvimento e aplicação das tecnologias, vindos do método do Design Thinking, mais bem abordados no próximo capítulo.

6. DESIGN THINKING

O Design Thinking (DT) oferece a profissionais, de quaisquer áreas, a possibilidade de solucionar problemas, de forma inovadora, a partir de diversas ferramentas de interação, de forma que proporcione uma experiência positiva para o usuário durante o uso (TSCHIMMEL, 2017). Ao utilizar o DT, a preocupação em encontrar soluções não se restringe aos dados, pois com o método é possível estabelecer uma verdadeira empatia com o ser humano. Para isso, busca-se conhecer o problema, os desejos e as necessidades do usuário para o qual se está projetando (LIEDTKA; OGILVIE, 2011).

O DT aplica-se, por exemplo, a problemas sociais complexos, gerenciamento organizacional e inovação estratégica. Pode ser empregado a todos os tipos de organizações, não somente as que buscam um novo produto, mas também, as que almejam novos processos, serviços, interações e formas de comunicação e colaboração (BROWN; KATZ, 2011). O método se concentra na criação centrada no ser humano e na avaliação de artefatos tangíveis. O resultado podem ser protótipos físicos, como por exemplo, novos dispositivos de *hardware*, interfaces de usuários e aplicações móveis (DOLAK; UEBERNICKEL; BRENNER, 2013).

As diferentes aplicações do Design Thinking induzem a coexistência de diferentes definições, visto que é usado em diversos contextos e perspectivas. Com relação ao Design Industrial, o foco está no processo de design e nos produtos finais projetados. Na Engenharia Industrial, objetiva gerar soluções alternativas para atender aos requisitos de desempenho, em geral, o resultado são produtos novos e inovadores. No campo de Sistemas de Informação, a importância do DT está na capacidade de solucionar problemas complexos e em seu processo iterativo de produção. Na Gestão de Inovação, o design se mostra relevante para fomentar a inovação e gerar vantagens competitivas, pode ser usado para inovação em produtos, serviços ou modelos de negócio (DOLAK; UEBERNICKEL; BRENNER, 2013).

De acordo com Vianna et al. (2018), o método do Design Thinking pode ser dividido em três etapas, de natureza não linear, ou seja, podem ser ajustadas de acordo com o problema a ser resolvido com iterações e aprendizados constantes. Elas são apresentadas na Figura 3 e explicadas a seguir, seguindo orientações do mesmo autor.

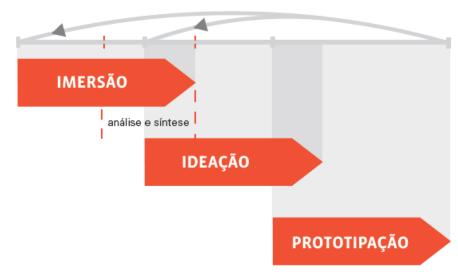


Figura 3 - Etapas do Design Thinking

Fonte: Vianna et al., (2018).

A etapa de Imersão é feita com o objetivo de aproximação ao contexto do problema, observando o ponto de vista de todos os envolvidos no processo. Esta é dividida em duas partes: Imersão Preliminar e em Profundidade.

A imersão Preliminar tem por objetivo o entendimento do contexto, definir o escopo do projeto, seus limites e identificar os usuários que serão abordados. Também é possível identificar áreas de interesse a serem investigadas, fornecendo informações para a Imersão em Profundidade. Já a Imersão em Profundidade, iniciase com a elaboração de um Plano de Pesquisa, este inclui protocolos de pesquisa primária, listagem dos perfis dos atores-chave e mapeamento do contexto.

Finalizando a etapa de Imersão, é realizada a Análise e Síntese, que tem como objetivo organizar, de forma visual, os dados coletados na etapa anterior de modo que seja possível visualizar os padrões existentes para total compreensão do tema e identificação de oportunidades e desafios.

A etapa da Ideação objetiva gerar ideias para solução do problema utilizando os resultados da fase de Análise e Síntese. É importante que haja diversidade nos perfis das pessoas envolvidas na geração de ideias, para unir diferentes perspectivas, tornando o processo mais rico e assertivo.

Completa-se o DT com a etapa de Prototipação, quando as ideias, provenientes das outras etapas, serão aplicadas e transformadas em um modelo físico para validação. Apesar de se apresentar por último, esta etapa pode ser desenvolvida em

paralelo com a Imersão e Ideação. Tal protótipo pode ser feito como um artefato, em sua forma mais simples, que representa o produto para simular a solução proposta, envolvendo o usuário e buscando entender suas percepções sobre o produto.

Aplicando o DT as empresas têm a oportunidade de adotar posturas diferentes para solução de problemas estratégicos e colaborativos e, também, explorar novas formas de enfrentar os desafios, ou seja, o método pode ser usado como forma de transpor o medo dos gestores em adotar soluções inovadoras (LIEDTKA; KING; BENNETT, 2013). Desta forma, o DT gera interesse tanto no ambiente empresarial quanto no ambiente acadêmico. Transforma os processos lineares tradicionais em processos com espaços de inovação, com uma abordagem multidisciplinar, para solucionar, com criatividade, problemas complexos (LIEDTKA, 2017).

7. EXPERIÊNCIA DO USUÁRIO

Segundo Peffers et al. (2007), dependendo do contexto em que um artefato está inserido, a avaliação pode assumir diferentes formas, incluindo a comparação da funcionalidade com os objetivos, medidas qualitativas como por exemplo os resultados de uma pesquisa de satisfação ou o *feedback* do usuário, simulações ou medidas quantificáveis de desempenho do sistema como tempo de resposta e disponibilidade. Ao final da avaliação decide-se se terá outra iteração ou o produto finalizado.

No caso do Design Thinking, o teste da experiência do usuário é parte integrante e imprescindível do ciclo do método. As atividades específicas para avaliação são consideradas *ex post*, ou seja, após a construção de um artefato (DOLAK; UEBERNICKEL; BRENNER, 2013). Clark e Smith (2008) defendem que a emoção impulsiona a ação, logo, a compreensão da experiência do usuário no Design Thinking é uma parte integrante de qualquer desenvolvimento de produto ou negócio. Complementando, Stickdorn e Schneider (2012) afirmam que a importância é atribuída aos indivíduos e às interações, o artefato deve ser adaptado até que a experiência do usuário seja satisfatória.

Todas as decisões sobre o design são seguidas por um experimento que geram informações quantitativas e qualitativas. A avaliação ocorre continuamente, visto que todos os ciclos de design geram resultados (HEVNER et al., 2004). Esta deve ser feita observando todas as interações do processo e refinada com base no *feedback* dos usuários, até atingir uma forma reconhecida como funcional e útil (COLE et al., 2005).

Os pesquisadores em Design Thinking usam processos empáticos para compreender as necessidades e experiências dos usuários, a justificativa é que quanto mais empático for o processo, maior a possibilidade de atender a todos os requisitos dos usuários (MCDONAGH, 2004).

Um sentimento empático pode ter dois componentes, afetivo e cognitivo. O componente afetivo são os sentimentos referentes à situação ou necessidade do usuário, enquanto o componente cognitivo é a compreensão da perspectiva do usuário (MEAD, 2015). Combinando os dois conhecimentos, cria-se uma experiência mais positiva para o usuário, além de atender aos objetivos e necessidade (ADAMS; NASH, 2016).

A avaliação de necessidades empática ajuda, inclusive, na percepção da experiência do usuário sobre o próprio processo de avaliação. Com isso, o pesquisador tem a oportunidade de projetar um sistema de avaliação que não apenas atenda às necessidades dos usuários, mas também, aprimore sua percepção e uso da avaliação. A avaliação compreende componentes tangíveis (relatórios e outras entregas) e intangíveis (experiência) (ADAMS; NASH, 2016).

Independente da abordagem, Kouprie e Visser (2009) indicam quatro fases para qualquer processo de entendimento da empatia: descoberta, imersão, conexão e desapego. A Descoberta é a fase em que o pesquisador sai de sua zona de conforto para compreender o mundo do usuário. Já na Imersão, o pesquisador entra no mundo do cliente, tal processo pode incluir reuniões, visitas ou entrevistas. Para a fase de Conexão, o pesquisador identifica formas de se relacionar com o entendimento do cliente. Por fim, o Desapego sugere que o pesquisador saia do mundo do usuário e reflita sobre a experiência e use isso para melhorara a vida do usuário (KOUPRIE; VISSER, 2009).

Para entender a experiência do usuário, o pesquisador pode identificar todos os pontos de interação entre o cliente e o artefato, assim como as experiências emocionais do usuário com os pontos de interação (BATE; ROBERT, 2006). Com intuito de aprimorar a experiência do usuário em uma avaliação, o pesquisador deve identificar as experiências desejadas entre os grupos de *stakeholders* para poder visualizar tais experiências em cada interação. Normalmente é usado um protótipo para testar as ideias rapidamente e aprender fazendo, com o método de tentativa e erro. É valido ressaltar que a prototipagem envolve muito tempo e esforço nas suas interações, inclusive do usuário (ADAMS; NASH, 2016).

Especificamente sobre a automação, a forma como o usuário utiliza o sistema automatizado e sua percepção sobre a confiança, pode ser analisado de forma dinâmica, com base no entendimento sobre o modo de operação do sistema ao longo do tempo. O modo, ou estado, de um sistema automatizado determina sua resposta à entrada do usuário e às mudanças no contexto geral do sistema (JANSSEN et al., 2019).

8. MÉTODO DE PESQUISA

8.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

A estratégia de pesquisa adotada neste trabalho foi a Design Science Research (DSR). De acordo com Simon (1996), o Design é uma estratégia com objetivo de melhorar o meio ambiente com a criação de artefatos novos e inovadores, e, os processos para construção desses artefatos (abordagem prescritiva científica). Diferente dos paradigmas das ciências naturais que buscam de gerar conhecimento a partir de algo conhecido, o Design Science tem o objetivo principal de adquirir conhecimento sobre sistemas artificiais que ainda não existem (SIMON, 1996).

As disciplinas voltadas a engenharia, entendem o Design Science como uma metodologia de pesquisa válida e valiosa, visto que a cultura da pesquisa em engenharia vê valor em soluções de problemas aplicáveis e com eficácia incremental (PEFFERS et al., 2007). Ou seja, é voltada para a criação de situações artificiais e simuladas, onde há o equilíbrio entre a pesquisa descritiva e a aplicação real (VAN AKEN, 2004).

Holmström, Ketokivi e Hameri (2009) afirmam que na DSR o interesse do pesquisador é desenvolver instruções para solução de um problema manifestado na forma de artefatos, de forma prática e tecnológica. Por esse motivo, os mesmos autores defendem que o método pode ajudar na lacuna entre a teoria e a prática, pois resolve problemas reais aumentando a relevância da pesquisa, tornando o desafio explorar as contribuições teóricas no ambiente acadêmico.

O artefato resultante, necessariamente precisa ser vinculado aos conhecimentos teóricos da área onde estão inseridos e possíveis contribuições acadêmicas (HOLMSTRÖM; KETOKIVI; HAMERI, 2009). Especificamente os artefatos de Tecnologias da Informação (TI), vão além da simples resolução de problemas humanos e capacidades organizacionais, estes fornecem ferramentas intelectuais e computacionais, e, conforme seu uso e desenvolvimento, surgem teorias sobre suas aplicações e impactos. Como exemplos de artefatos nessa situação temos softwares, ferramentas e sistemas de informação (HEVNER et al., 2004).

Como o foco desse trabalho foi envolver os usuários da criação até a avaliação do produto, para compreensão do contexto ambiental e desenvolvimento desse

artefato, serão usadas algumas ferramentas do Design Thinking (DT). O DT oferece aos pesquisadores diversas ferramentas para solução de problemas de forma inovadora, bem como o Design Science Research, com o adicional de ter seu foco totalmente no usuário desde o entendimento do problema até o objeto final (TSCHIMMEL, 2017).

Vaishnavi, Kuechler e Petter (2019) apresentam um modelo de processo (ciclo) para o Design Science Research focado no desenvolvimento de Sistemas de Informação, apresentado na Figura 4. Os autores propõem quais seriam os passos a serem seguidos para a criação de um artefato de sistemas.

Fluxos de Passos do Saídas conhecimento processo Conscientização Proposta Contribuição de Sugestão Projeto provisório conhecimento circunspecção Desenvolvimento Artefato operação e objetivo conhecimento de Medidas de Avaliação desempenho Conclusão Resultado

Figura 4 - Modelo de processo do Design Science Research (ciclo do DRS)

Fonte: Traduzido de Vaishnavi, Kuechler e Petter (2019).

A primeira fase é a de Conscientização. A conscientização de um problema de pesquisa pode ter origem em várias fontes, incluindo novos desenvolvimentos na indústria ou de uma disciplina de referência que pode fornecer a oportunidade de aplicação de novas descobertas ao campo do pesquisador. A saída dessa fase é uma Proposta, formal ou informal, para um novo esforço de pesquisa (VAISHNAVI; KUECHLER; PETTER, 2019).

A fase da Sugestão é uma etapa criativa onde uma nova funcionalidade é concebida com base em uma nova configuração de elementos existentes ou novos. Um Projeto Provisório e o desempenho de um protótipo baseado nesse design podem ser parte integrante da Proposta formal de Design Science Research. A linha pontilhada nas saídas de Conscientização e Sugestão da Figura 4 expressam essa relação entre a Proposta e o Projeto Provisório (VAISHNAVI; KUECHLER; PETTER, 2019).

Na fase de Desenvolvimento é criado um artefato, ou seja, o Projeto Provisório é ainda mais desenvolvido para a implementação. Existem diversas formas de desenvolvimento de soluções, ficando à critério do pesquisador encontrar a melhor maneira para cada caso específico (VAISHNAVI; KUECHLER; PETTER, 2019).

Depois de construído e implementado, o artefato precisa passar pela fase da Avaliação. Os critérios dessa fase são definidos pelo pesquisador de acordo com o tipo de artefato criado. Os desvios das expectativas, tanto qualitativas quanto quantitativas, dever ser analisados e explicados. De acordo com os resultados da avaliação, as informações dessa etapa podem ser reunidas e retornar para a fase de Sugestão, recomeçando o ciclo (VAISHNAVI; KUECHLER; PETTER, 2019).

Na Conclusão, sugere-se que o esforço de pesquisa seja avaliado de acordo com o nível de satisfação dos usuários do sistema de informação criado, ou seja, mesmo o artefato não se comportando perfeitamente de acordo com o esperado ele é considerado bom o suficiente pois supre as necessidades dos clientes. Nessa fase os resultados são consolidados e descritos, gerando contribuições para o conhecimento e podendo servir de objeto para futuras pesquisas (VAISHNAVI; KUECHLER; PETTER, 2019).

8.2 DESIGN SCIENCE RESEARCH E DESIGN THINKING

Soluções clássicas do Design Thinking (DT) visam satisfazer as necessidades humanas. O método permite que os clientes e usuários tomem decisões tanto nas diretrizes de produção quanto nas de implementação. A importância do DT consiste no poder de impulsionar inovações e entender a experiência do usuário frente ao artefato (LEIFER; STEINERT, 2011).

Por outro lado, o Design Science Research oferece diretrizes claras e consistentes para os processos, com abordagens organizadas e sistemáticas. A característica principal da DSR é a construção de artefatos novos e inovadores que resolvem problemas relevantes e, em geral, a pesquisa se concentra em conhecimentos descritivos sobre os artefatos (PEFFERS et al., 2007).

Considera-se que o foco da Design Science Research está no desenvolvimento de uma solução para um importante problema de negócios, e apenas o conhecimento descritivo sobre a utilidade de um artefato, em um contexto específico, é entendida como uma contribuição teórica relevante. Por outro lado, o Design Thinking objetiva identificar a relevância de um problema por meio da avaliação das necessidades centradas no ser humano (DOLAK; UEBERNICKEL; BRENNER, 2013; PEFFERS et al., 2007).

O Design Science Research e o Design Thinking convergem a forma de conduzir o design e na avaliação do artefato de forma iterativa, ambos os métodos incentivam a criatividade e desenvolvem seus artefatos por tentativa e erro. Porém, o DT compreende um ciclo constante e iterativo de identificação e (re)definição do problema, isso resulta em fases convergentes e divergentes no processo de design do artefato (DOLAK; UEBERNICKEL; BRENNER, 2013; PEFFERS et al., 2007). Já o DSR, entende as iterações do processo apenas como parte dos objetivos definidos de uma solução específica, resultando em uma limitação para o problema, bem como limitações no espaço criativo da solução (DOLAK; UEBERNICKEL; BRENNER, 2013).

Ambos os métodos, ao final, têm-se um protótipo, mas como na DSR o foco é o artefato, e no DT o foco é a experiência do usuário, serão seguidas as etapas da DSR, mas utilizando as ferramentas do DT. O delineamento é apresentado a seguir.

8.3 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O delineamento da pesquisa é apresentado na Figura 5. No caso desse trabalho, a projeto de pesquisa foi realizado em três etapas:

- a) revisão de literatura;
- b) criação de um protótipo de solução automatizada para canteiro de obras;
- c) avalição do protótipo e percepções dos futuros usuários.

ETAPA A ETAPA C ETAPA B Design Science Research Conscientização Conceitos gerais e problema Imersão relevante Revisão de Literatura PERCEPÇÕES Conhecimentos Design Análise e DOS Prototipação sobre o contexto Thinking Síntese USUÁRIO do problema Avaliação Tecnologias Ideação Conclusão Desenvolvimento Sugestão existentes e aplicadas

Figura 5 - Delineamento da pesquisa

Fonte: A Autora.

A etapa A consistiu em analisar os conceitos principais do problema, os conhecimentos que existiam sobre o contexto no qual o problema está inserido e tecnologias já existentes e aplicadas para sua solução.

Para atingir os objetivos propostos nesta etapa foi realizada uma revisão da literatura que se estendeu até a conclusão do trabalho. Buscou-se o entendimento dos conceitos gerais sobre a Indústria 4.0 e os novos sistemas tecnológicos. Frente aos objetivos propostos, nesta etapa investigou-se tecnologias disponíveis e suas possíveis aplicações em canteiros de obra no que tange a automação baseada em sensores.

Especificamente para o desenvolvimento do trabalho, procurou-se identificar métodos e técnicas de pesquisa para alcançar os objetivos propostos, incluindo Design Thinking (DT) e avaliação das percepções dos usuários frente ao protótipo.

No Quadro 22 as etapas do processo de Design Science Research e as etapas do Design Thinking estão correlacionadas pelos objetivos em comum de cada etapa da DSR e do DT, assim como as ferramentas do DT correspondentes a cada fase do processo de criação do artefato proposto e, os resultados esperados. As ferramentas a serem usadas nesse trabalho (especificadas no Quadro 2) foram escolhidas a partir da revisão de literatura e uma conversa com um especialista em Design Thinking, para poder entender qual delas melhor se aplicariam nesse caso específico. Os processos e ferramentas são mais bem explicadas a seguir.

Quadro 2 - Relação entre o Design Science Research e o Design Thinking

Etapas	Etapas do DSR	Etapas do DT	Ferramenta	Resultados
		Imersão Preliminar	Pesquisa Exploratória através da observação participante	Contexto e Protocolo para Pesquisa Desk
а	Conscientização		Pesquisa Desk em publicações relevantes	Tendências
		Imersão em Profundidade	Entrevistas	Plano de Pesquisa
		Análise e Síntese	Blueprint	Mapeamento do processo
	Sugestão	Ideação	Brainstorming	Geração de ideias
b	Desenvolvimento	Prototipação	Protótipo de Serviço	Desenvolvimento do protótipo
С	Avaliação			Validação e Experiência do Usuário
	Conclusão			Resultados e contribuição teórica

Fonte: A autora.

Para realização da fase de Conscientização na etapa B foi necessário identificar uma empresa que possuía um almoxarifado e estoque em obra. A empresa parceira do projeto foi uma construtora e incorporadora que teve o início de suas atividades em 2004 e já havia executado 13 empreendimentos até a data da pesquisa. No total, a empresa possuía na época 65 funcionários diretos e em torno de 70 funcionários indiretos. Entre os funcionários das obras estavam um Engenheiro Civil responsável pelas obras, dois assistentes de Engenharia, três estagiários dois Mestres de Obras e dois Almoxarifes. No escritório os funcionários eram divididos em um Gerente Administrativo, um Gerente Financeiro, uma Gerente Comercial, uma Secretária Executiva, um Comprador, uma Assistente de Recursos Humanos, um Assistente de Vendas e um responsável pelo Marketing da empresa.

No momento da realização da pesquisa a empresa estava com duas obras em andamento, sendo uma casa residencial e o empreendimento onde foram realizadas

as etapas de Imersão Preliminar e Imersão em Profundidade, mais descritas a seguir. No decorrer dessa etapa também foi realizado um estudo de caso na obra para entender o problema do controle de materiais e ferramentas.

O empreendimento onde foram desenvolvidas as primeiras etapas do projeto foi um condomínio vertical de padrão médio, com 2500m² de área do terreno, 8775,5m² de área construída, 1499,61m² de área de lazer e 5875,73m² de área habitacional. Ao todo o empreendimento possui 75 unidades habitacionais, divididas em 12 pavimentos, sendo 6 apartamentos tipos diferentes por pavimento e dois pavimentos de garagem anexos ao edifício. A Figura 6 mostra a implantação da obra, na linha azul se encontra a torre a ser construída e em vermelho o almoxarifado no primeiro pavimento, as demais áreas correspondem ao estacionamento e áreas de lazer.



Figura 6 - Planta de implantação da obra

Fonte: Material de divulgação da empresa.

A obra contava com 43 funcionários divididos em um Engenheiro Civil, um Almoxarife, um Auxiliar de Obras, um Mestre de Obras, um Contra Mestre, três Estagiário de Engenharia, um Ferreiro, 10 carpinteiros, 11 Pedreiros e 13 Serventes. Porém, devido a pandemia do COVID-19, a obra ficou parada por três semanas no mês de março, no momento das entrevistas estavam trabalhando de acordo com as recomendações municipais de manter apenas 75% dos funcionários, com os devidos EPI's e cuidados.

A Imersão Preliminar foi por meio de observação participante da obra. Desse modo foram feitas visitas à obra onde o objetivo foi observar como aconteciam os processos desde a compra até o armazenamento dos materiais suas principais limitações e a dificuldade de comunicação entre os diversos setores da empresa, além de conversar com os envolvidos nos processos para entender suas percepções (Engenheiro Civil, um estagiário, Almoxarife e o responsável pelo setor de Compras) e por quê tais problemas persistem. Desta forma, o problema de controle de estoque foi entendido e analisado com o intuito de elaborar um protocolo de pesquisa para a Pesquisa *Desk*. A pesquisa Desk ocorreu durante todo processo da pesquisa e foi importante para obter informações relevantes e tendências das áreas estudadas de outras fontes confiáveis, além dos atores envolvidos no projeto. Essas fontes foram livros, revistas, artigos, entre outros. Essa Imersão Preliminar também forneceu dados para a Imersão em Profundidade (VIANNA et al., 2018).

Na Imersão em Profundidade, com a técnica de entrevistas, foram obtidas informações por meio de um questionário (Apêndice A) semiestruturado dividido em três blocos de perguntas, fornecedores e insumos, sistema de compras e estoque, este foi feito com os mesmos funcionários da Imersão preliminar. Analisando as entrevistas, pôde-se gerar um Plano de Pesquisa com protocolos de pesquisa primário, perfis de usuários, atores-chave e mapeamento dos contextos, apresentados no item 6.1.2 Análise e Síntese. Nessa etapa, buscou-se responder as seguintes perguntas: "o que as pessoas falam?"; "como agem?"; "o que pensam?"; "como se sentem?" (Apêndice A) (VIANNA et al., 2018).

As perguntas (Apêndice A) foram feitas de forma semiestruturadas com intuito de gerar uma conversa entre o entrevistador e o entrevistado, visando o melhor entendimento possível. As entrevistas foram gravadas e transcritas integralmente para poder analisá-las na próxima etapa.

Para concluir conscientização, pôde-se realizar a Análise e Síntese, utilizando a ferramenta *Blueprint* de serviço. Trata-se de uma matriz para esquematizar todo sistema de interações do processo, mapeando todos os elementos em que o usuário interage, de forma simples. Esta ferramenta permite visualizar os pontos falhos, resultando na Sugestão e Desenvolvimento que foi seguida na próxima fase. A matriz consistiu no conhecimento do processo que vai da solicitação, análise, compra, recebimento do pedido, armazenamento e controle. Desse modo, foi possível entender as ações e as experiências de diferentes atores e compreender a integração dos elementos do processo (VIANNA et al., 2018).

A etapa B também compreendeu a Sugestão e o Desenvolvimento, que consistiu na ideação e criação de um protótipo provisório de solução automatizada para o canteiro de obras desenvolvido e testado em laboratório e demonstrado a campo. Foram utilizadas algumas ferramentas do Design Thinking selecionadas com ajuda de um especialista em DT, descritas e relacionadas com o Desing Science Research no Quadro 2, para melhor compreensão das dificuldades e limitações enfrentadas pelos envolvidos no processo de coleta e comunicação de informações sobre materiais, no canteiro de obras, que podem ser solucionadas com apoio de tecnologias de automação aplicadas diretamente no gerenciamento.

Na etapa da Ideação, com as informações obtidas na etapa anterior, foi utilizada a ferramenta de *Brainstorming*, para estimular a criatividade e gerar soluções dentro do contexto. Essa ferramenta objetivou ter o maior número de ideias possíveis em um curto espaço de tempo e, posteriormente, estas ideias foram filtradas. O *Brainstorming* foi o conduzido pelo pesquisador para que o grupo mantivesse o foco no problema possibilitando soluções coerentes. A ferramenta foi aplicada em uma reunião na obra na qual pelo menos um representante (engenheiro, estagiários de engenharia, almoxarife e o responsável pelo setor de compras) de cada setor envolvido no problema estudado foi consultado para haver o entendimento por diversas perspectivas (VIANNA et al., 2018). As ideias foram anotadas pelo pesquisador e posteriormente analisadas e filtradas dentro das delimitações da pesquisa como recursos financeiros.

Para Prototipação foi utilizada a ferramenta de Protótipo de Serviços. Essa ferramenta permitiu a montagem do protótipo provisório mais simples possível, sendo de baixo custo e fácil remodelação, com o objetivo principal de entender as

percepções dos possíveis usuários sobre o produto e idealizar as mudanças necessárias para uma futura implementação a partir dos componentes mínimos necessários para o funcionamento (VIANNA et al., 2018).

Após a criação do protótipo foi realizada a etapa C de Conclusão e Avaliação para avaliar o produto e as percepções dos usuários. O protótipo foi apresentado em campo para duas construtoras de médio porte. As empresas construtoras foram selecionadas para o estudo pois possuem funcionários dedicados apenas a função de almoxarife dedicado ao controle desse almoxarifado, com controle de estoques. Na apresentação foram feitos testes e a demonstração de funcionamento do produto para dois engenheiros, três almoxarifes e um auxiliar de engenharia. Durante a apresentação de cada obra, dentro do estabelecimento do escritório de engenharia, foi realizado uma reunião na qual pôde-se sanar e discutir as dúvidas sobre o funcionamento do protótipo para os funcionários presentes. No fim da reunião, foi entregue um questionário (Apêndice B) com perguntas objetivas a fim de entender as percepções positivas e negativas sobre o funcionamento, bem como se seria uma tecnologia útil a eles para resolver os problemas relatados referente ao controle de materiais. Esse questionário envolveu os constructos de utilidade e aplicabilidade buscando a identificação dos requisitos básicos de relevância, simplicidade e facilidade de uso.

9. RESULTADOS E ANÁLISE

9.1 CONSCIENTIZAÇÃO

9.1.1 Imersão preliminar

A Pesquisa Exploratória foi feita por meio de uma visita à obra utilizando a observação participante, nesta, a obra foi apresentada pelo Engenheiro responsável, assim como alguns de seus funcionários relevantes para a pesquisa, tais como os estagiários, mestre de obras e almoxarife. Foi possível realizar uma breve conversa com cada um enquanto havia a apresentação e observação de alguns de seus serviços diários. Com isso, pode-se entender o objeto de estudo deste trabalho e gerar ideias para direcionar a Pesquisa Desk.

Durante a visita pode-se observar que para compra de materiais construtivos (hidráulicos, elétricos, cimentícios, cerâmicos etc.) não há um cronograma definido, as compras são planejadas de acordo com o cronograma físico à médio prazo da obra, em torno de um ou dois meses antes do material ser necessário é feita a solicitação, então começa o processo de compra até a estocagem do material. O processo inicia com o Almoxarife comunicando o Estagiário da obra sobre a necessidade, este, por sua vez, faz uma análise técnica do pedido e então encaminha ao responsável pelas compras no escritório.

O sistema ERP⁷ utilizado para todo processo de compras é o *software* Sienge, este permite que o Estagiário envie uma solicitação de materiais para o Comprador, que emite um pedido de compra e envia aos fornecedores. Este processo, leva em torno de um dia da compra de materiais recorrentes como materiais pequenos dentre eles: conexões hidráulicas, pregos e parafusos até o recebimento do material na obra, dependendo da disponibilidade dos fornecedores, porém a instrução passada aos colaboradores é que seja feito o pedido uma semana antes. De acordo com o entrevistado não existem dificuldades ou potencial para melhorias, visto que o processo foi adaptado da melhor maneira possível e encontra-se atrelado às rotinas do Sienge.

-

⁷ Sistema de Gestão Integrado.

Com relação ao controle de estoques, o processo começa com o recebimento do material na obra pelo Almoxarife, este confere a nota fiscal e os materiais e, então, faz o armazenamento. O controle de entradas e saídas da obra é feito em uma planilha eletrônica elaborada no *software* Microsoft Excel, alimentada manualmente pelo Almoxarife. Esta planilha é programada para destacar as células correspondentes ao material, emitindo um alerta quando este chega a uma quantidade mínima pré-definida pelos responsáveis da obra.

A maior dificuldade encontrada no processo de controle de estoques é o tempo para preencher a planilha. Atualmente o Almoxarife faz o controle de saídas em uma planilha manual e ao fim do dia ele faz a baixa na planilha do Microsoft Excel. Aqui pôde-se identificar um potencial para melhorias, eliminando a parte manual de alimentação da planilha, agilizando o processo e prevenindo erros que podem acontecer, principalmente, com relação a materiais pequenos e em grandes quantidades, pode-se citar como exemplo, conexões hidráulicas e elétricas, parafusos e arruelas. As dificuldades encontradas foram devido ao sistema de ERP utilizado necessitar mais tempo para inserir dados comparado a planilha de Excel.

A Figura 7 e 8 mostram como os materiais, citados como problemáticos para o controle, são armazenados no almoxarifado. Os materiais estão em gavetas móveis ou baias.



Figura 7 - Armazenamento de conexões hidráulicas pequenas

Fonte: A Autora.



Figura 8 - Armazenamento de conexões hidráulicas grandes

Fonte: A Autora.

9.1.2 Imersão em profundidade

Nessa etapa, foi feita uma segunda visita à obra para aplicar a técnica de Entrevistas. Esta possibilitou entender os perfis dos usuários, atores-chave e o mapeamento dos contextos. Após feitos esses entendimentos foi gerado o protocolo de pesquisa primário, direcionando os objetivos específicos a serem seguidos nesse trabalho assim como a justificativa.

Essas entrevistas foram feitas de forma semiestruturadas gerando conversas investigativas em relação ao problema de controle de estoques. Estas entrevistas foram gravadas e transcritas integralmente para possibilitar a próxima etapa de Análise e Síntese.

9.1.3 Análise e síntese

Após a Imersão em Profundidade pôde-se conhecer os atores-chave e entender os perfis dos mesmos, como é possível visualizar na Tabela 2. Pode-se perceber que são todos do sexo masculino com idade superior a 30 anos, atualmente cursando Ensino Superior, salvo o Engenheiro Civil que já é formado.

Tabela 2 - Perfis dos atores-chave

				Experiência	
	Idade	Sexo	Formação	Construção	Experiências anteriores
				Civil	
Engenheiro	33 anos	Masculino	Engenheiro Civil	8 anos	Não possui
			Ensino Superior		
Estagiário	30 anos	Masculino	incompleto (Eng.	3 anos	Trabalhos com TI
			Civil)		
			Ensino Superior	1 ano e 6	Caixa em posto de
Almoxarife	31 anos	Masculino	incompleto (Eng.		gasolina e auxiliar de
			Civil)	meses	informática
			Ensino Superior		Varejo, indústria de
Compras	54 anos	Masculino	incompleto	6 anos	alimentos, químico,
			(Administração)		farmacêutico, telefônica.

Fonte: A autora.

Também foi possível esquematizar todo processo de compras e controle de materiais. No quadro 3 pode-se visualizar a *blueprint* de serviço com as interações que ocorrem no processo de compra até o armazenamento e controle dos insumos citadas pelos funcionários.

Quadro 3 - Blueprint de Serviços

Sugestões	Nível de satisfação	Problemas	Ações necessárias	
Organizar os insumos inseridos no software	Bom	Os insumos são cadastrados no <i>Siege</i> , tendo muitos insumos duplicados gerando problemas nos relatórios de compras	São feitas pelo almoxarife diretamente para o setor de compras através do software Sienge, ou em casos de urgência através de ligação, mas sempre tem que haver a solicitação pelo software para registro	Solicitação
Mais organização dos funcionários da obra com os prazos para os pedidos que devem ser feitos uma semana antes da necessidade	Razoável, a análise poderia ser mais rápida	Às vezes pode haver demora na resposta do setor de compras devido a demanda e tem que ser feitas pelo engenheiro diretamente com os fornecedores	Feito pelo responsável do setor de compras, em caso de materiais específicos ou técnicos é feita análise pelo engenheiro juntamente com o responsável pelas compras	Análise
Manter o funcionamento	Ótimo	Não foram relatados problemas com relação a compra de materiais	A comunicação com os fornecedores é feita pelo responsável do setor de compras após análises necessárias	Compra
Mais atenção dos funcionários ao receber material	Bom	Já houve problemas de recebimento de material errado por falta de verificação correta da nota fiscal na entrega	O recebimento e verificação dos materiais é feito pelo almoxarife	Recebimento
Criar uma forma automatizada para preenchimento da planilha com materiais retirados e restantes no estoque, de preferência conectada com o software Sienge	Ruim	Falta de tempo do almoxarife para manter a planilha sempre atualizada, comumente é feita em planilha manual e ao final do dia quando há tempo ele atualiza no computador	O armazenamento é feito pelo almoxarife e o controle em planilha do software Microsoft Excel	Armazenamento e Controle

Fonte: A Autora.

Como é possível observar, durante o processo de análise, dependendo do material, como concreto e cimento que possuem diversas e diferentes especificações dependendo do elemento estrutural a ser construído (fck, slump) e argamassas colantes os quais dependem da região a ser aplicada, podem ser envolvidas diversas pessoas, Engenheiro, estagiário, almoxarife, setor de compras para fazer as análises e solicitações.

Com relação as solicitações o processo é satisfatório, sendo o único problema relatado a necessidade de um pouco mais de organização dos dados inseridos no Sienge. Há nomenclaturas diferentes cadastradas para o mesmo material (por exemplo AC II e Argamassa Colante II), o que gera problemas aos relatórios de materiais comprados e utilizados. O processo de análise também é satisfatório sob o ponto de vista dos usuários, havendo apenas uma demora quando há uma grande demanda para o comprador, o que muitas vezes é causada por solicitações feitas fora do prazo estipulado para isso. No contato do comprador com os fornecedores não foi relatado nenhum problema ou possibilidade de melhorias com automação. O recebimento dos materiais também é satisfatório, sendo o único problema relatado a falta de atenção e conferência correta da nota fiscal e dos insumos.

No armazenamento e controle dos materiais foi identificado o principal problema de todo o processo. Nessa etapa, devido a processos manuais executados pelo Almoxarife que dependendo da demanda de trabalho, não consegue manter atualizada em tempo real, a planilha de controle fica muitas vezes desatualizada ou com dados incorretos. A planilha eletrônica foi criada pelo estagiário e ela possui o controle de todos os materiais utilizados em obra e é preenchida ao final do dia manualmente pelo almoxarife, que durante o dia preenche uma planilha manual (Figura 9), depois passa os dados para o computador. Nessa etapa da pesquisa, observa-se uma oportunidade de melhoria utilizando a automação para descartar a parte humana e automatizar o processo de controle atualizando a planilha em tempo real, gerando avisos em caso de necessidade de compra.

CONTROLE DE FERRAMENTAS

PERRAMENTA

PERRAMENTA

PERRAMENTA

PERRAMENTA

PERRAMENTA

PROME

ASSINATURA

PONOLICA

PERRAMENTA

PROME

PERRAMENTA

PROME

PERRAMENTA

PROME

PERRAMENTA

PROME

PERRAMENTA

PROME

PERRAMENTA

PROME

PROMONIANO

PROMONIANO

PROMONIANO

PONOLICA

PONOCIONANIO

PONOCION

Figura 9 - Planilha de controle

Fonte: A autora.

9.2 SUGESTÃO E DESENVOLVIMENTO

9.2.1 Ideação

Após análise da *blueprint* foi possível perceber que o processo que demanda mais tempo do funcionário é o controle do estoque de materiais, ferramentas e equipamentos, visto que muitas vezes não há tempo hábil para o Almoxarife manter as planilhas de controle atualizadas, levando a falta de conhecimento em tempo real das quantidades dos insumos presentes no Almoxarifado.

Durante as entrevistas na fase de Imersão com os atores-chave a solução sugerida foi que se eliminasse a parte humana e se automatizasse esse processo. Foram levantadas algumas hipóteses de soluções com RFID para controle de ferramentas e equipamentos presentes no almoxarifado e sensores de peso para materiais pequenos e em grandes quantidades.

Durante a revisão de literatura sobre a utilização de RFID e sensores, foram identificadas algumas formas de implementação, tornando o foco desse trabalho apenas as Entidades Físicas (sensores e RFID), devido à quantidade de recursos disponíveis, tanto da empresa parceira, quanto ao tempo para conclusão do projeto,

para realizar a comunicação por Camadas de Rede das Entidades Físicas com o computador.

A primeira ideia para o Protótipo de Serviço foi fazer o controle de ferramentas e equipamentos, pois além do controle de estoque foram relatados problemas com ferramentas e equipamentos perdidas e deixadas em locais inapropriados, o que gera custos altos e desnecessários para aquisição de novos produtos.

Esta solução exigiria para sua prototipação o acesso a equipamentos específicos para sua automação. Para isto foi procurada uma empresa parceira dos laboratórios de Engenharia da IMED, fornecedora de equipamentos para automação industrial. A partir da apresentação do problema para a empresa, esta sugeriu o uso de RFID para a automação do controle das saídas e entradas das ferramentas e equipamentos no Almoxarifado. Após isso, foi solicitado um orçamento dos materiais necessários sugeridos pela empresa (Tabela 3).

A solução RFID para controle das ferramentas presentes no almoxarifado dependeria de uma antena e um controlador para cada ponto de acesso, no caso dessa obra necessitaria apenas uma, pois há apenas uma porta onde ocorrem a entrega dos equipamentos do Almoxarife para os demais funcionários e as *tags* para colar nos equipamentos e o mínimo que a empresa disponibiliza é um rolo com mil unidades de *tags*.

Porém como mostra a tabela 3 os valores ficaram muito elevados, em função dos recursos disponíveis para realização da pesquisa. Desta forma, não foi possível desenvolver e testar essa solução.

Tabela 3 - Orçamento RFID

Descrição	Quantidade	Valor
Antena de leitura e escrita	1	R\$ 16.052,40
Controlador da antena	1	R\$ 9.056,55
Rolo de tags (1000 unidades)	1	R\$ 5.955,83
	Total:	R\$ 31.064,78

Fonte: A Autora.

Após descartada a solução com RFID buscou-se na Pesquisa Desk possíveis soluções para o controle de materiais pequenos e presentes em grandes quantidades no Almoxarifado. Foram encontrados alguns estudos (VÄHÄ et al., 2013;

SOLEIMANIFAR et al., 2014; MONTASER; MOSELHI, 2014; FANG et al., 2016; SCHWAB, 2016; MOON ET AL., 2018; TSURUTA; MIURA; MIYAGUCHI, 2019; GE; ZANG, 2020) que utilizaram células de carga em outras indústrias, que através do peso do material pode-se conhecer a quantidade presente no estoque.

No caso da solução de automação para materiais pequenos, os equipamentos necessários são duas células de carga para melhor calibração da balança, um arduino, uma protoboard de 400 pontos, um módulo Hx711 e uma plataforma feita em impressora 3D para cada bandeja de armazenamento de materiais. Para o orçamento foram buscados os componentes em sites na internet e feito a média dos valores encontrados. O orçamento pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 - Orçamento para automatização com sensores

Quantidade	Valor
1	R\$ 49,57
2	R\$ 26,40
1	R\$ 11,50
1	R\$ 23,90
1	R\$ 10,00
Total:	R\$ 121,37
	1 2 1 1

Fonte: A autora.

Após o levantamento de valores de mercado para as duas soluções cogitadas, foi possível observar que a automatização com sensores tem um custo muito inferior para construção do protótipo, comparada com o sistema de RFID completo. Levando em consideração que um dos objetivos desse trabalho foi encontrar a solução de menor custo possível, se escolheu trabalhar com sensores para o protótipo ser o mais simples e barato podendo concluir outro objetivo que consistiu em observar as percepções dos usuários frente a soluções tecnológicas aplicadas no canteiro de obras.

9.2.2 Prototipação

A montagem dos elementos para a automação foi feita conforme a Figura 10, onde as células de carga são conectadas ao módulo Hx711 que transmite os dados coletados para o arduíno. Todas as conexões são feitas através da *protoboard*, o

arduíno é conectado ao computador por um cabo de rede. A plataforma (bandeja azul) foi feita na impressora 3D do laboratório da IMED, pois não existe um produto semelhante no mercado com os requisitos necessário. Esta possui dois encaixes para as células de carga, de modo que eles sejam pressionados de maneira correta permitindo a otimização da pesagem, figura 11.

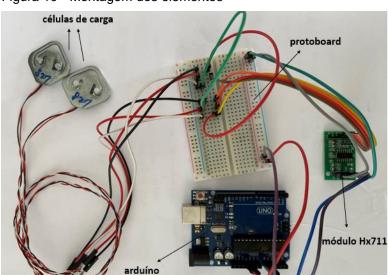


Figura 10 - Montagem dos elementos

Fonte: A Autora.

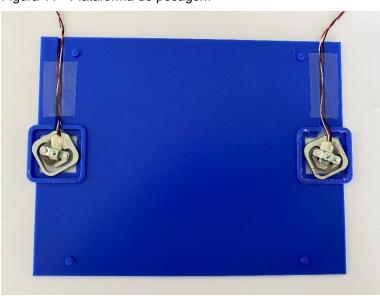


Figura 11 - Plataforma de pesagem

Fonte: A Autora.

Nesse sistema ainda há a limitação de peso. As células de carga utilizadas possuem pouca precisão para materiais com menos de 100gr, em uma situação real de obra, corresponderiam a embalagens de pregos e parafusos, conexões hidráulicas maiores de 100mm etc. Porém, há opções de sensores de precisão que resolveriam este problema, também há a opção de sensores mais robustos caso a empresa opte por controlar matérias de maior peso (cimento, barras de ferro etc.).

Com a aquisição dos materiais e montagem do protótipo, a próxima etapa foi achar uma maneira de integrar o físico e o digital, mostrando e armazenando os dados nos computadores utilizados. Em conversa e reuniões com especialistas de TI, foram levantadas algumas alternativas para o envio dos dados ao computador. A primeira alternativa consistiu em utilizar a planilha já utilizada na obra que era do software Excel, porém teria limitação de não estar interconectada entre os computadores utilizados por diferentes funcionários da empresa. O que levou a uma segunda alternativa sugerida, que compreendeu em fazer uso da plataforma Google Sheets, presente na plataforma do software Google Drive a qual realiza atualização em tempo real nos computadores que possuam internet. A ideia foi plenamente aceita como viável pelos entrevistados. Como terceira alternativa, que também foi aceita, seria realizar a conexão com o software de controle ERP Sienge utilizado pela empresa. Além disso, sugeriu-se como quarta opção a criação de um serviço web hospedado em nuvem ou em um servidor na mesma rede que envia uma solicitação de armazenamento dos dados para um banco de dados nessa aplicação. A última solução não foi utilizada, pois seria mais difícil a visualização dos dados do que nas outras soluções propostas.

No serviço web proposto por um especialista em TI, seria possível adicionar e remover grupos e usuários para utilização, também adicionar, modificar ou remover balanças (cada material controlado teria uma balança) e um histórico em que ficariam gravados os dados de entradas e saídas dos materiais. O *template* da tela inicial é mostrado na figura 12.

Figura 12 - Template serviço web



Fonte: A Autora.

9.3 AVALIAÇÃO

9.3.1 Avaliação do produto e percepções dos usuários

Após concluída a prototipação, as demonstrações foram realizadas nos escritórios de engenharia presente nos canteiros de duas obras. Na primeira estavam presentes o engenheiro e dois almoxarifes e na segunda o engenheiro, um almoxarife e um auxiliar de engenharia. Estas demonstrações levaram em torno de 30 minutos. A demonstração consistiu na utilização de embalagens de 200g de parafuso, pois a precisão da balança ficou para valores de mais de 100g. A parte das sugestões levantadas de utilização dos *softwares* computacionais para a exposição dos dados dos computadores não foram executadas pelos motivos informados na fase de prototipação, estas foram explicadas pelo pesquisador.

Para essas avaliações foram analisados os seis questionários (apêndice B) entregues aos participantes após a demonstração de funcionamento do protótipo. As perguntas objetivaram quatro constructos de avaliação: utilidade, aplicabilidade viabilidade e funcionalidade para avaliar os critérios de relevância, simplicidade e facilidade de uso.

Com relação ao nível de satisfação (baixo, razoável, bom e excelente) com o produto apresentado, dois entrevistados consideraram excelente e quatro consideram

bom. A satisfação com a qualidade foram quatro respostas considerando bom, uma razoável e uma excelente.

Todos concordaram que o produto resolveria um problema real em canteiro de obras e consideram os dados coletados (peso, quantidade, e a hora no qual foram retirados e colocados) suficientes para isso. A viabilidade foi avaliada por um entrevistado como "muito viável" e os outros cinco consideram "viável". A relevância da aplicação do produto no canteiro de obras foi considerada muito relevante pela metade e a outra metade considerou relevante.

O nível de inovação ficou avaliado como inovador por dois entrevistados e muito inovador por quatro. A avaliação da facilidade de uso ficou com cinco respostas como moderado e apenas uma como fácil.

Também foi questionado a nota de 0 a 10, sendo 0 ruim e 10 excelente, que eles dariam para o produto de forma geral, considerando todos os aspectos, a média ficou em 8.5.

Ao serem questionados o que mais gostaram no produto, as respostas foram sobre a versatilidade e possibilidade de utilização em diversos materiais com diferentes tamanhos e pesos, a possibilidade de personalização, precisão, custo, a facilidade de uso e a característica de ser algo simples e inovador que resolve um grande problema dos almoxarifados.

O que menos os entrevistados gostaram do produto foi a demanda de infraestrutura e organização do layout do estoque e almoxarifado, a grande quantidade de equipamentos para controlar todos os materiais gerando receio que o custo se torne muito alto. Também ficaram dúvidas sobre o tempo demandado para a manutenção, caso necessária.

Ao final foram questionados se adicionariam alguma funcionalidade, em caso de resposta positiva, foi pedido para que descrevessem. Foi citado que seria interessante ter alguma forma de alertar caso seja retirado algum material sem autorização, também, alertas luminosos ou sonoros quando o insumo chegue a uma quantidade mínima pré-estabelecida, facilitar a parte da calibração para poder ser feita pelo próprio almoxarife caso haja troca de material nas bandejas ou a criação de um banco de dados contendo todos os materiais que serão utilizados do início ao fim da obra e relatórios periódicos com dados de consumo/semana e consumo/mês.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

10.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Considerando o objetivo geral do trabalho de desenvolver uma solução automatizada e de baixo custo para controle de materiais em canteiro de obras, com base na experiência do usuário utilizando o método de Design Thinking foi desenvolvido um protótipo de menor custo possível, e, ao final foi feita uma avaliação desse protótipo através de uma demonstração e questionário para os colaboradores das obras visitadas, podendo entender as suas percepções sobre o funcionamento do protótipo. Tudo isso utilizando o método do Design Thinking, que envolveu os colaboradores em todas as etapas possíveis.

Ainda não é possível avaliar se a solução completa, envolvendo o controle de diversos materiais em uma situação real em canteiro de obras continuaria mantendo o baixo custo que teve o protótipo, visto que além do próprio produto necessitar melhorias de design, essa solução exige algumas adaptações nos estoques e almoxarifados.

Quanto ao primeiro objetivo específico do trabalho foi possível identificar o potencial e as restrições das tecnologias que podem ser aplicadas no canteiro de obras e foi concluído com a revisão de literatura que buscou tecnologias já aplicadas na indústria de forma geral e na construção civil diretamente no canteiro de obras.

No desenvolvimento desse trabalho foi possível identificar que diferente das restrições encontradas na literatura que enfatiza que uma das maiores limitações da aplicação de tecnologias na indústria da construção civil, mais especificamente no canteiro de obras é a resistência dos colaboradores, na obra onde foram feitas as etapas de Imersão Preliminar e Imersão em Profundidade, também nas obras onde foram feitas as demonstrações do protótipo, os colaboradores se mostraram interessados em conhecer e aplicar a tecnologia, pois resolveria um problema real relatado por eles. Isto mostra a importância de integrar os colaboradores na discussão de problemas e na busca de soluções.

Com relação a solução proposta há ainda a preocupação com os custos para a instalação em obra, visto que a solução desenvolvida possui alguns cabos interconectados e exige uma melhor organização dos estoques para a aplicação,

porém além da preocupação com o custo, foi discutido que seria bom para a empresa organizar melhor os almoxarifados. Há dúvidas também com relação a manutenção necessária, pois o ambiente da obra tem muita poeira o que poderia danificar os equipamentos ou exigir manutenções periódicas para a limpeza. Também foi sugerido pelos colaboradores, um banco de dados que contenham todos os materiais utilizados do início ao fim da obra, para não necessitar calibragens nas balanças conforme mudam os materiais utilizados.

O último objetivo foi entender e analisar as percepções dos usuários frente a implementação e uso de uma solução automatizada. Porém, por falta de tempo, o protótipo não foi implementado. Foram feitas demonstrações do uso e funcionalidades da solução e observando as respostas da fase de avaliação e percepção dos possíveis usuários pode-se constatar que o produto é de fato relevante para o uso no canteiro de obras. Com relação ao protótipo, algumas dificuldades foram encontradas para seu desenvolvimento, pois o trabalho acabou sendo bastante interdisciplinar, envolvendo as áreas de Engenharia Civil e TI, sendo necessária a colaboração de diferentes especialistas, para a parte física (montagem), para a programação e para o entendimento da indústria 4.0 e as tecnologias provenientes dela.

Também foi necessário a colaboração de empresas de tecnologia, onde foram feitas reuniões para entender o que elas poderiam oferecer para o setor da construção civil e formas de aplicar suas tecnologias, assim como de construtoras para a fase de conscientização e avaliação final.

10.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O MÉTODO DE PESQUISA

O segundo objetivo foi avaliar o método do Design Thinking para o desenvolvimento e aplicação de tecnologias digitais no canteiro de obras. Foi possível constatar que quando os futuros usuários são envolvidos no processo de criação da solução, há menos resistência, pois ao serem ouvidos podem relatar suas percepções e problemas pessoais enfrentados nos processos da empresa que fazem parte, o que garante a personalização do produto para cada empresa e solucionar problemas específicos relatados,

O método se mostrou eficiente tanto para o desenvolvimento quanto para uma possível implementação, os funcionários ouvidos se mostraram bastante abertos a

conversas e interessados em fazer parte de todo processo, pois assim poderiam opinar e personalizar o produto de acordo com o que realmente precisam resultando em uma solução mais robusta e aplicável aos problemas enfrentados, do que quando feita exclusivamente pelo desenvolvedor e especialistas que não vivenciam o dia a dia da obra.

10.3 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Algumas questões ainda podem ser mais exploradas, devido o tempo para conclusão da dissertação, não foi possível implementar o protótipo em uma obra e testar a experiência do usuário utilizando soluções tecnológicas em seu local de trabalho, bem como realizar melhorias e adaptações sugeridas pelos entrevistados.

Com relação ao protótipo em si, é necessário ainda fazer melhorias no design para a implementação e adaptação ao canteiro de obras. Seria importante também, pensar melhor no *layout* do estoque e almoxarifado, pois algumas modificações seriam exigidas para a aplicação, pensando nos fios e cabos que conectam o sistema, também uma rede interna via *wireless* para transmissão dos dados para diferentes computadores e dispositivos.

Estas sugestões podem ser feitas seguindo o método do Design Thinking e de Experiência do Usuário descritos nesse trabalho.

REFERÊNCIAS

ANTONACCI, A.; ARDUINI, F.; MOSCONE, D.; PALLESCHI, G.; SCOGNAMIGLIO, V. Nanostructured (Bio)sensors for smart agriculture. **Trac Trends In Analytical Chemistry**, [S.L.], v. 98, p. 95-103, jan. 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.trac.2017.10.022

ARAÚJO, Nelma Mirian Chagas de; AVELINO, Luciana de Lira; ARAUJO, Vanessa da Silva. Compatibilização entre o planejamento e o controle no processo de execução de obras de edificações verticais: um estudo multicaso na cidade de joão pessoa. **Holos**, [S.L.], v. 8, p. 72-80, 31 dez. 2018. Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). http://dx.doi.org/10.15628/holos.2018.6901.

ASHIMA, R.; HALEEM, A.; BAHL, S.; JAVAID, M.; MAHLA, S. K.; SINGH, S. Automation and manufacturing of smart materials in additive manufacturing technologies using Internet of Things towards the adoption of industry 4.0. **Materials Today**: Proceedings, [S.L.], v. 45, p. 5081-5088, 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.583.

BAINBRIDGE, Lisanne. Ironies of automation. In: **Analysis, design and evaluation of man–machine systems**. Pergamon, 1983. p. 129-135.

BASTAN, Ondrej *et al.* Resiliency, the Path to Safety II. **Ifac-Papersonline**, [S.L.], v. 51, n. 6, p. 468-472, 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.07.105.

BATE, Paul.; ROBERT, Glen.. Experience-based design: from redesigning the system around the patient to co-designing services with the patient. **Quality And Safety In Health Care**, [S.L.], v. 15, n. 5, p. 307-310, 1 out. 2006. BMJ. http://dx.doi.org/10.1136/qshc.2005.016527.

BOCK, Thomas. The future of construction automation: Technological disruption and the upcoming ubiquity of robotics. **Automation In Construction**, [s.l.], v. 59, p.113-121, nov. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.022.

BONINI, Luiz Alberto; SBRAGIA, Roberto. O modelo de design thinking como indutor da inovação nas empresas: um estudo empírico. **Revista de Gestão e Projetos**, [s. I.], v. 2, n. 1, p. 03–25, 2011. http://dx.doi.org/10.5585/gep.v2i1.36.

BRENNEN, J. Scott; KREISS, Daniel. Digitalization. **The International Encyclopedia Of Communication Theory And Philosophy**, [S.L.], p. 1-11, 23 out. 2016. Wiley. http://dx.doi.org/10.1002/9781118766804.wbiect111.

BROWN, Tim. Design thinking. **Harvard Business Review**, [s. l.], v. 86, n. 6, p. 84–92, 2008.

BROWN, Tim; KATZ, Barry. Change by Design. **Journal Of Product Innovation Management**, [S.L.], v. 28, n. 3, p. 381-383, 7 mar. 2011. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/j.1540-5885.2011.00806.x.

Cai, Hu; Zhang, Yin; Yan, Hehua. *et al.* A Delay-Aware Wireless Sensor Network Routing Protocol for Industrial Applications. **Mobile Netw Appl,** n.21, p.879–889, 2016. https://doi.org/10.1007/s11036-016-0707-7

CHASSIAKOS, A.p.; SAKELLAROPOULOS, S.p.. A web-based system for managing construction information. **Advances In Engineering Software**, [s.l.], v. 39, n. 11, p.865-876, nov. 2008. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.advengsoft.2008.05.006.

CHEN, Qian; SOTO, Borja García de; ADEY, Bryan T.. Construction automation: Research areas, industry concerns and suggestions for advancement. **Automation In Construction**, [s.l.], v. 94, p.22-38, out. 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.028

CLARK, Kevin; SMITH, Ron. Unleashing the Power of Design Thinking. **Design Management Review**, [S.L.], v. 19, n. 3, p. 8-15, 10 jun. 2010. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/j.1948-7169.2008.tb00123.x.

COLE, Robert et al. Being Proactive: Where Action Research Meets Design Research. 2005. Publicada por AIS Eletronic Library. Disponível em: https://aisel.aisnet.org/icis2005/27/. Acesso em: 25 ago. 2020.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (Brasília) (org.). **Desafios para Indústria 4.0 no Brasil**. 2016. Disponível em: https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2016/8/desafios-para-industria-40-no-brasil/. Acesso em: 15 jun. 2020.

DICTIONARY. **Sensor**. Disponível em: https://www.dictionary.com/browse/sensor>. Acesso em: 28 out. 2019.

DICTIONARY. **Stakeholder**. Disponível em: https://www.dictionary.com/browse/stakeholders?s=t. Acesso em: 19 ago. 2020.

DERLER, Patricia; LEE, Edward A.; SANGIOVANNI-VINCENTELLI, Alberto L. **Addressing modeling challenges in cyber-physical systems**. CALIFORNIA UNIV BERKELEY DEPT OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMPUTER SCIENCE, 2011.

DOLAK, Franziska; UEBERNICKEL, Falk; BRENNER, Walter. **Design Thinking and Design Science Research**. 2013. Publicada por University of St. Gallen. Disponível em: https://www.alexandria.unisg.ch/publications/223547. Acesso em: 24 ago. 2020.

FANG, Yihai; CHO, Yong K.; ZHANG, Sijie; PEREZ, Esau. Case Study of BIM and Cloud–Enabled Real-Time RFID Indoor Localization for Construction Management Applications. **Journal Of Construction Engineering And Management**, [s.l.], v. 142, n. 7, p. 05016003, jul. 2016. American Society of Civil Engineers (ASCE). http://dx.doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001125.

FROHM, Jörgen; LINDSTRÖM, Veronica; WINROTH, Mats Peter; STAHRE, Johan.

Levels of Automation in Manufacturing. **International Journal Of Ergonomics And Human Factors**, [S. L.], v. 30, n. 3, p. 1-28, jan. 2008.

FU, Yusheng.; TAN, Haiyan.; WU, Xiujian.; WU, Xiaohe.; YANG, Yongzheng.; GAO, Yanling; QING, Li.; CHEN, X.; NING, Y. Combination of medical and health care based on digital smartphone-powered photochemical dongle for renal function management. **Electrophoresis**, [S.L.], v. 42, n. 9-10, p. 1043-1049, 10 jun. 2019. Wiley. http://dx.doi.org/10.1002/elps.201900136.

GALIN, Rinat; MESHCHERYAKOV, Roman. Automation and robotics in the context of Industry 4.0: the shift to collaborative robots. **Iop Conference Series**: Materials Science and Engineering, [S.L.], v. 537, p. 1-5, 17 jun. 2019. IOP Publishing. http://dx.doi.org/10.1088/1757-899x/537/3/032073.

GANSSLE, Jack. Embedded systems dictionary. CRC Press, 2003.

GE, Jianqiao; ZHANG, Songtao. Adaptive Inventory Control Based on Fuzzy Neural Network under Uncertain Environment. **Complexity**, [S.L.], v. 2020, p. 1-10, 29 jul. 2020. Hindawi Limited. http://dx.doi.org/10.1155/2020/6190936.

GHOBAKHLOO, Morteza. Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 252, p. 119869, abr. 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119869.

GILCHRIST, Alasdair. **Industry 4.0: the Industrial Internet of Things. S**pringer, Heidelberg (2016)

GOBBLE, Maryanne M. Digitalization, Digitization, and Innovation. **Research-Technology Management**, [S.L.], v. 61, n. 4, p. 56-59, 4 jul. 2018. Informa UK Limited. http://dx.doi.org/10.1080/08956308.2018.1471280.

GROOVER, Mikell P. **Automation**. 2019. Publicada por Encyclopædia Britannica, inc.. Disponível em: https://www.britannica.com/technology/automation. Acesso em: 24 ago. 2020.

HECKMANN, Iris; COMES, Tina; NICKEL, Stefan. A critical review on supply chain risk – Definition, measure and modeling. **Omega**, [s.l.], v. 52, p. 119-132, abr. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2014.10.004.

HEVNER, Alan R. et al. Design Science in Information Systems Research. **MIS Quarterly**, v. 28, n. 1, p. 75–105, 2004.

HOLMSTRÖM, Jan; KETOKIVI, Mikko; HAMERI, Ari-Pekka. Bridging Practice and Theory: a design science approach. **Decision Sciences**, [S.L.], v. 40, n. 1, p. 65-87, fev. 2009. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/j.1540-5915.2008.00221.x.

HOUAISS. **Dicionário eletrônico Houaiss da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2009.

IVANOV, Dmitry; TSIPOULANIDIS, Alexander; SCHÖNBERGER, Jörn. Global

Supply Chain and Operations Management: a decision-oriented introduction to the creation of value. 2. ed. [s.l.]: **Springer**, 2019.

JANSSEN, Christian P. et al. History and future of human-automation interaction. **International journal of human-computer studies**, v. 131, p. 99-107, 2019. https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2019.05.006

KAGERMANN, H., HELBIG, J., HELLINGER, A. & WAHLSTER, W. (2013). Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0: Securing the Future of German Manufacturing Industry; Final Report of the Industrie 4.0 Working Group, *Forschungsunion*, 2013. Disponível em: https://en.acatech.de/wp-content/uploads/site

KLEIN, Leander Luiz; CORREIO, Mirela Schramm Tonetto. Quality Management Evaluation in Predial Works: practical contributions from a case study. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, [S.L.], v. 14, n. 4, p. 238-258, 1 set. 2019. A Fundação para o Desenvolvimento de Bauru (FunDeB). http://dx.doi.org/10.15675/gepros.v14i4.2351.

KOCAK, D. D.; GERSBACH, C. A. Scissors become sensors. Nature, v. 557, p. 169.

KOUPRIE, Merlijn; VISSER, Froukje Sleeswijk. A framework for empathy in design: stepping into and out of the user's life. **Journal Of Engineering Design**, [S.L.], v. 20, n. 5, p. 437-448, out. 2009. Informa UK Limited. http://dx.doi.org/10.1080/09544820902875033.

LEIFER, Larry J.; STEINERT, Martin. Dancing with ambiguity: causality behavior, design thinking, and triple-loop-learning. **Information Knowledge Systems Management**, [S.L.], v. 10, n. 1-4, p. 151-173, 2011. IOS Press. http://dx.doi.org/10.3233/iks-2012-0191.

LEONTARIS, Georgios; MORALES-NÁPOLES, Oswaldo; DEWAN, Ashish; WOLFERT, A.r.m. (rogier). Decision support for offshore asset construction using expert judgments for supply disruptions risk. **Automation In Construction**, [s.l.], v. 107, p. 102903, nov. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102903.

LEE, Edward A. Cyber physical systems: Design challenges. In: **2008 11th IEEE** International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC). IEEE, 2008. p. 363-369.

LEE, Edward Ashford; SESHIA, Sanjit A. Introduction to embedded systems: A cyber-physical systems approach. Mit Press, 2016.

DI Li; TANG; WANG, Shiyong; LIU, Chengliang. A big data enabled load-balancing control for smart manufacturing of Industry 4.0. **Cluster Computing**, [S.L.], v. 20, n. 2, p. 1855-1864, 17 abr. 2017. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s10586-017-0852-1.

- LI, Xiaomin *et al.* A review of industrial wireless networks in the context of Industry 4.0. **Wireless Networks**, [S.L.], v. 23, n. 1, p. 23-41, 2017. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s11276-015-1133-7.
- LI, Xun; HUI, Eddie Chi-Man; LANG, Wei; ZHENG, Shali; QIN, Xiaozhen. Transition from factor-driven to innovation-driven urbanization in China: a study of manufacturing industry automation in dongguan city. **China Economic Review**, [S.L.], v. 59, p. 101382, fev. 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.chieco.2019.101382.
- LI, Xiaojuan; WANG, Chen; ALASHWAL, Ali. Case Study on BIM and Value Engineering Integration for Construction Cost Control. **Advances In Civil Engineering**, [S.L.], v. 2021, p. 1-13, 4 fev. 2021. Hindawi Limited. http://dx.doi.org/10.1155/2021/8849303.

LIEDTKA, Jeanne; OGILVIE, Tim. Designing for Growth: A Tool Kit For Managers. **Rotman Management**, [s. l.], n. Fall, p. 16–21, 2011.

LIEDTKA, Jeanne; KING, Andrew; BENNETT, Kevin. Re-Framing Opportunities: DESIGN THINKING IN ACTION. Rotman Management, [s. I.], 2013.

LIEDTKA, Jeanne. Evaluating the Impact of Design Thinking in Action. **Academy Of Management Proceedings**, [S.L.], v. 2017, n. 1, p. 10264, ago. 2017. Academy of Management. http://dx.doi.org/10.5465/ambpp.2017.177.

LUKINSKIY, Valery; LUKINSKIY, Vladislav; SOKOLOV, Boris. Control of inventory dynamics: a survey of special cases for products with low demand. **Annual Reviews In Control**, [s.l.], v. 49, n. 1, p. 1-15, maio 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.arcontrol.2020.04.005.

MARQUES, Rui Miguel de Lima; SOUSA, Victor. As tecnologias de informação e comunicação na indústria de construção portuguesa: Caracterização da sua utilização e análise do impacto no desempenho das empresas. 2010. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2010.

MCDONAGH, Deana. Empathic Design: user experience in product design. **The Design Journal**, [S.L.], v. 7, n. 3, p. 53-54, nov. 2004. Informa UK Limited. http://dx.doi.org/10.2752/146069204789338406.

MEAD, George Herbert. **Mind, self, and society: The definitive edition**. University of Chicago Press, 2015.

MISTRY, Ishan *et al.* Blockchain for 5G-enabled IoT for industrial automation: a systematic review, solutions, and challenges. **Mechanical Systems And Signal Processing**, [S.L.], v. 135, p. 106382, jan. 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.ymssp.2019.106382.

MONTASER, Ali; MOSELHI, Osama. RFID indoor location identification for

construction projects. **Automation In Construction**, [s.l.], v. 39, p. 167-179, abr. 2014. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2013.06.012.

MOON, Sungkon; XU, Shouzhi; HOU, Lei; WU, Changzhi; WANG, Xiangyu; TAM, Vivian W. Y.. RFID-Aided Tracking System to Improve Work Efficiency of Scaffold Supplier: stock management in australasian supply chain. **Journal Of Construction Engineering And Management**, [s.l.], v. 144, n. 2, p. 04017115, fev. 2018. American Society of Civil Engineers (ASCE). http://dx.doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001432.

MORRAR, Rabeh; ARMAN, Husam; MOUSA, Saeed. The Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0): a social innovation perspective. **Technology Innovation Management Review**, [s.l.], v. 7, n. 11, p. 12-20, 27 nov. 2017. Carleton University. http://dx.doi.org/10.22215/timreview/1114.

MOSTERMAN, Pieter J.; ZANDER, Justyna. Industry 4.0 as a Cyber-Physical System study. **Software & Systems Modeling**, [S.L.], v. 15, n. 1, p. 17-29, 8 out. 2015a. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s10270-015-0493-x.

MOSTERMAN, Pieter J.; ZANDER, Justyna. Cyber-physical systems challenges: a needs analysis for collaborating embedded software systems. **Software & Systems Modeling**, [S.L.], v. 15, n. 1, p. 5-16, 21 ago. 2015b. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s10270-015-0469-x.

MUELLER, Egon; CHEN, Xiao-li; RIEDEL, Ralph. Challenges and Requirements for the Application of Industry 4.0: A Special Insight with the Usage of Cyber-Physical System. **Chinese Journal Of Mechanical Engineering**, [s.l.], v. 30, n. 5, p.1050-1057, 19 jul. 2017. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s10033-017-0164-7.

MUHURI, Pranab K.; SHUKLA, Amit K.; ABRAHAM, Ajith. Industry 4.0: a bibliometric analysis and detailed overview. **Engineering Applications Of Artificial Intelligence**, [s.l.], v. 78, p. 218-235, fev. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.engappai.2018.11.007.

NAKAGAWA, Elisa Yumi; ANTONINO, Pablo Oliveira; SCHNICKE, Frank; CAPILLA, Rafael; KUHN, Thomas; LIGGESMEYER, Peter. Industry 4.0 reference architectures: state of the art and future trends. **Computers & Industrial Engineering**, [S.L.], v. 156, p. 107241, jun. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2021.107241.

NASCIMENTO, Luiz Antonio do; SANTOS, Eduardo Toledo. A Indústria da Construção na Era da Informação. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p.69-81, mar. 2003.

NIELSEN, Y.; HASSAN, T. M.; ÇIFTÇI, C.. Legal Aspects of Information and Communication Technologies Implementation in the Turkish Construction Industry: Applicability of eLEGAL Framework. **Journal Of Professional Issues In Engineering Education And Practice**, [s.l.], v. 133, n. 3, p.255-264, jul. 2007. American Society of Civil Engineers (ASCE). http://dx.doi.org/10.1061/(asce)1052-

3928(2007)133:3(255).

OESTERREICH, Thuy Duong; TEUTEBERG, Frank. Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. **Computers In Industry**, [s.l.], v. 83, p.121-139, dez. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006.

OSSEIRAN, Afif *et al.* Scenarios for 5G mobile and wireless communications: the vision of the metis project. **leee Communications Magazine**, [S.L.], v. 52, n. 5, p. 26-35, maio 2014. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). http://dx.doi.org/10.1109/mcom.2014.6815890.

OZTEMEL, Ercan; GURSEV, Samet. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. **Journal Of Intelligent Manufacturing**, [s.l.], p.1-56, 24 jul. 2018. Springer Nature.Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8.>. Acesso em: 6 jul. 2019.

PARASURAMAN, R.; SHERIDAN, T.B.; WICKENS, C.D. A model for types and levels of human interaction with automation. **leee Transactions On Systems, Man, And Cybernetics - Part A**: Systems and Humans, [S.L.], v. 30, n. 3, p. 286-297, maio 2000.

PARK, Soojin et al. An Architecture Framework for Orchestrating Context-Aware IT Ecosystems: a case study for quantitative evaluation. **Sensors**, [S.L.], v. 18, n. 2, p. 562, 12 fev. 2018. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/s18020562.

PASCU, Razvan.; CRACIUNOIU, Florea.; PRISTAVU, Gheroghe.; BREZEANU, Gheorghe.; KUSKO, Mihaela. Oxide trap states versus gas sensing in SiC-MOS capacitors – The effect of N- and P- based post oxidation processes. **Sensors And Actuators B**: Chemical, [S.L.], v. 245, p. 911-922, jun. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.snb.2017.02.044.

PEFFERS, Ken et al. A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. **Journal Of Management Information Systems**, [S.L.], v. 24, n. 3, p. 45-77, dez. 2007. Informa UK Limited. http://dx.doi.org/10.2753/mis0742-1222240302.

PUTNIK, Goran *et al.* What is a Cyber-Physical System: definitions and models spectrum. **Fme Transactions**, [S.L.], v. 47, n. 4, p. 663-674, 2019. Centre for Evaluation in Education and Science (CEON/CEES). http://dx.doi.org/10.5937/fmet1904663p.

REZGUI, Yacine; ZARLI, Alain. Paving the Way to the Vision of Digital Construction: A Strategic Roadmap. **Journal Of Construction Engineering And Management**, [s.l.], v. 132, n. 7, p.767-776, jul. 2006. American Society of Civil Engineers (ASCE). http://dx.doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2006)132:7(767).

RIBEIRO, J.; LIMA, R.; ECKHARDT, T.; PAIVA, S. Robotic Process Automation and Artificial Intelligence in Industry 4.0 – A Literature review. **Procedia Computer**

Science, [S.L.], v. 181, p. 51-58, 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.104.

ROTO, Virpi; OBRIST, Marianna; VÄÄNÄNEN-VAINIO-MATTILA, Kaisa. User experience evaluation methods in academic and industrial contexts. In: **Proceedings of the Workshop UXEM**. 2009. p. 1-5.

SANTOSO, Harry B.; SCHREPP, Martin. The impact of culture and product on the subjective importance of user experience aspects. **Heliyon**, [s.l.], v. 5, n. 9, p.1-12, set. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02434.

SAIDI, Kamel S.; O'BRIEN, Jonathan B.; LYTLE, Alan M.. Robotics in Construction. **Springer Handbook Of Robotics**, [s.l.], p. 1079-1099, 2008. Springer Berlin Heidelberg. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-30301-5_48.

SCHEER, August-wilhelm. Theses on Digitalization. In: ABOLHASSAN, Ferri. **The Drivers of Digital Transformation**: why there's no way around the cloud. Why There's No Way Around the Cloud. Saarbrücken: Springer, 2016. Cap. 4. p. 33-43.

SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial**. São Paulo: Edipro, 2016. Tradução de: Daniel Moreira Miranda.

SIMON, Herbert Alexander. **The sciences of the Artificial.** Cambridge: MIT Press, 1996.

SNYDER, Lawrence V.; ATAN, Zümbül; PENG, Peng; RONG, Ying; SCHMITT, Amanda J.; SINSOYSAL, Burcu. OR/MS models for supply chain disruptions: a review. **lie Transactions**, [s.l.], v. 48, n. 2, p. 89-109, 18 ago. 2015. Informa UK Limited. http://dx.doi.org/10.1080/0740817x.2015.1067735.

SOLEIMANIFAR, Meimanat; SHEN, Xuesong; LU, Ming; NIKOLAIDIS, Ioanis. Applying received signal strength based methods for indoor positioning and tracking in construction applications. **Canadian Journal Of Civil Engineering**, [s.l.], v. 41, n. 8, p. 703-716, ago. 2014. Canadian Science Publishing. http://dx.doi.org/10.1139/cjce-2013-0433.

TEIXEIRA DE SOUZA, Marina.; ALMADA SANTOS, Fernando. Habilidades operacionais e indústria 4.0: Revisão sistemática da literatura. **Future Studies Research Journal: Trends and Strategies**, v. 12, n.2, p.264–288, 2020.

STICKDORN, Marc; SCHNEIDER, Jakob. This is Service Design Thinking: Basics, Tools, Cases. [S. L.]: Wiley, 2012. 384 p.

TECHTERMS (org.). **Node**. Disponível em: https://techterms.com/definition/node. Acesso em: 19 ago. 2020.

THINKING: ACT: Digitization in the construction industry: Building Europe's road to "Contruction 4.0". Munich: Roland Berger, jun. 2016.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. B. **Sensores industriais**: Fundamentos e aplicações. 9 ed. São Paulo: Érica, 2020, 248 p.

TSCHIMMEL, Katja et al. **D-Think Toolkit. Design Thinking Applied to Education and Training**. Matosinhos: Erasmus+, 2017.

TSURUTA, Takehiro.; MIURA, Kazuyuki.; MIYAGUCHI, Mikita. Mobile robot for marking free access floors at construction sites. **Automation In Construction**, [s.l.], v. 107, p. 1-11, nov. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102912.

VÄHÄ, Pentti; HEIKKILÄ, Tapio; KILPELÄINEN, Pekka; JÄRVILUOMA, Markku; GAMBAO, Ernesto. Extending automation of building construction — Survey on potential sensor technologies and robotic applications. **Automation In Construction**, [s.l.], v. 36, p. 168-178, dez. 2013. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2013.08.002.

VAISHNAVI, Vijay; KUECHLER, Bill; PETTER, Stacie. "Design Science Research in Information Systems. 2019. Disponível em: http://www.desrist.org/design-research-in-information-systems/. Acesso em: 25 ago. 2020.

VAN AKEN, Joan Ernst. Management research based on the paradigm of the design sciences: The quest for field-tested and grounded technological Rules. **Journal Of Management Studies**, [S.L.], v. 41, n. 2, p. 65-87, mar. 2004. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/joms.2004.41.issue-2.

VARGHESE, Anitha; TANDUR, Deepaknath. Wireless requirements and challenges in Industry 4.0. In: **2014 International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)**. IEEE, 2014. p. 634-638.

VARGHESE, Anitha; TANDUR, Deepaknath. Wireless requirements and challenges in Industry 4.0. In: **2014 International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)**. IEEE, 2014. p. 634-638.

VIANNA, Maurício et al. **Design Thinking: Inovação em Negócios**. Rio de Janeiro: MJV Press, 2018.

VOGEL-HEUSER, Birgit; HESS, Dieter. Guest Editorial Industry 4.0—Prerequisites and Visions. **leee Transactions On Automation Science And Engineering**, [s.l.], v. 13, n. 2, p.411-413, abr. 2016. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). http://dx.doi.org/10.1109/tase.2016.2523639.

ZAVADSKAS, Edmundas Kazimieras. Automation and robotics in construction: international research and achievements. **Automation In Construction**, [s.l.], v. 19, n. 3, p. 286-290, maio 2010. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2009.12.011.

ZHUGE, Hai. **The Knowledge Grid: Toward Cyber-Physical Society**. World Scientific, 2012.

APÊNDICE A

BLOCO 1 - FORNECEDORES E INSUMOS

- Existe contato com os fornecedores a partir do canteiro de obras? (alguma compra é feita sem passar pelo setor de compras?)
- 2. Quais itens não podem faltar no planejamento de compra de uma obra? (que causem consequências significativas em cronograma e orçamento)
- Quais critérios são usados para definir os itens acima? (Importância financeira, de planejamento...)?
- 4. Existe algum item no estoque que mereça maior atenção (itens críticos)? Em termos de demora para entrega, disponibilidade e qualidade do material solicitado, erros de entrega...
- Nome do insumo:
- Tempo médio necessário para cotação:
- Tempo médio necessário para análise, negociação e confirmação de compra:
- Tempo médio necessário para entrega na obra:
- É necessária a contratação de serviços de terceiros para instalação/aplicação do insumo? Se sim, quanto tempo antes de iniciar o serviço na obra o produto deve ser comprado/serviço deve ser contratado?

BLOCO 2 - SISTEMA DE COMPRA

- 1. O software utilizado (Sienge) atende todos os requisitos necessários para compra e controle de estoques? Quais funções do software são utilizadas pela empresa?
- A empresa possui um cronograma de compras para a obra? Como ele é gerado? (A partir do planejamento da obra?)
- 3. O cronograma, se houver, é seguido corretamente por parte dos responsáveis pelas compras e pelos responsáveis pelas solicitações de materiais? Há muita diferença entre o orçado e executado?
- 4. Qual o nível de comunicação entre o setor de compras e a obra?
- 5. A forma de solicitação de compras é feita de forma satisfatória?
- 6. Se fosse melhorar o processo de compras de sua empresa, o que melhoraria?

BLOCO 3 - ESTOQUE

- Com que frequência a empresa precisa repor o estoque dos itens citados como críticos?
- 2. Como esses itens são armazenadas? Existe possibilidade para melhorias?
- 3. Existe alguma forma para controle de estoque a partir do escritório? (se sim, o que poderia ser melhorado, se não, seria útil?)
- 4. Existe alguma dificuldade para se controlar o estoque a partir do canteiro de obras? Qual a maior?
- 5. Já houve atraso de cronograma e/ou diferença no orçamento pela falta ou atraso de materiais? Quais materiais?
- 6. Na falta de alguma mercadoria crítica, o que a empresa faz?

APÊNDICE B

QUESTIONÁRIO

	CARGO OCUPADO NA EMPRESA:
1.	Qual o nível de satisfação: Do produto apresentado: () baixo () razoável () bom () excelente
	Com a qualidade apresentada: () baixo () razoável () bom () excelente
2.	Você acha que essa solução resolveria um problema real no canteiro de obras? () sim () não () não sei opinar
3.	Os dados coletados são suficientes para resolver o problema proposto? () sim () não () não sei opinar
4.	O quão viável você considera o protótipo em uma situação real no canteiro de obras () pouco viável () viável () muito viável
5.	Qual a relevância da aplicação desse produto no canteiro de obras? () pouco relevante () relevante () muito relevante
6.	Quão inovador você considera a solução? () pouco inovador () inovador () muito inovador
7.	Com relação ao uso, você considera () fácil () moderado () difícil
8.	De forma geral, de 1 a 10, qual a nota você daria para o produto?
9.	O que você mais gostou do protótipo apresentado?
10	O que você menos gostou no protótipo apresentado?
11	.Há alguma funcionalidade que você gostaria de adicionar ao produto? Se sim, qual?