

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

JOSÉ LUCAS DE OLIVEIRA

APLICABILIDADE DOS CONCEITOS DA INDÚSTRIA 4.0 EM UM LABORATÓRIO
DE ENSAIOS

Joinville

março - 2021

JOSÉ LUCAS DE OLIVEIRA

APLICABILIDADE DOS CONCEITOS DA INDÚSTRIA 4.0 EM UM LABORATÓRIO
DE ENSAIOS

Monografia apresentada ao
Curso de Bacharelado em
Engenharia Elétrica do
Campus Joinville do
Instituto Federal de Santa
Catarina para a obtenção do
diploma de Engenheiro
Eletricista.

Orientador: Rodrigo Coral,
Dr. Eng.

Joinville

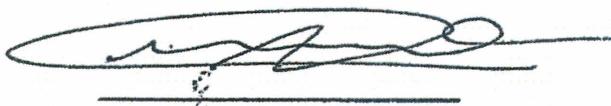
março - 2021

JOSÉ LUCAS DE OLIVEIRA

**APLICABILIDADE DOS CONCEITOS DA INDÚSTRIA 4.0 EM UM LABORATÓRIO
DE ENSAIOS**

**Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Engenheiro
Eletricista, pelo Instituto Federal de Santa Catarina Campus Joinville e aprovado na
sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.**

Joinville, 16, março de 2021.



Prof. Rodrigo Coral, Dr. Eng.

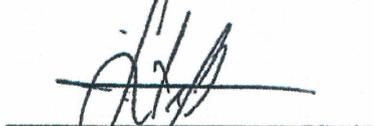
Orientador

Instituto Federal de Santa Catarina Campus Joinville



Prof. Michael Klug, Dr. Eng.

Instituto Federal de Santa Catarina Campus Joinville



Prof. Stefano Zeplin, M. Eng.

Instituto Federal de Santa Catarina Campus Joinville



Pedro Henklein, M. Sc.

WEG

Dedico este trabalho a todo o curso de Bacharelado em engenharia elétrica do Instituto Federal de Santa Catarina – Campus Joinville, corpo docente e discente, do qual tive o privilégio de fazer parte da sua primeira turma de formandos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por sempre colocar ótimas oportunidades e pessoas especiais em meu caminho.

À minha família, pelo apoio incondicional, pelo incentivo e dedicação para a minha formação pessoal e profissional. Por celebrarem minhas conquistas e me abraçarem nas adversidades.

Ao Prof. Rodrigo Coral, por ter aceito ser meu orientador e ter me aconselhado e dedicado seu tempo, especialmente em um momento delicado como este pelo qual passamos. Aos demais professores, que se doaram e compartilharam seus conhecimentos.

Aos meus amigos e colegas de classe, pelo apoio e companheirismo ao longo da caminhada acadêmica, tornando-a ainda mais enriquecedora.

Ao Instituto Federal de Santa Catarina, por oferecer um curso de graduação gratuito e noturno, que permite ao aluno-trabalhador se desenvolver academicamente.

A empresa e funcionários, que me permitiram realizar o questionário e coletar informações essenciais para este trabalho.

RESUMO

Diante da alta competitividade no cenário atual, as empresas almejam aprimorar seus processos a fim de reduzir perdas e elevar a qualidade, confiabilidade e agregar valor ao seu produto. Esses objetivos alinham-se com os benefícios propostos por um dos maiores influenciadores da inovação atualmente, a Indústria 4.0. Nesse sentido, o presente trabalho tem o objetivo de analisar a aplicabilidade das ferramentas da Indústria 4.0 em um laboratório de ensaios de produtos. Para alcançar esses objetivos, o trabalho fundamentou-se por meio de revisão bibliográfica sobre os temas e um questionário com profissionais da área de ensaios. Demonstrou-se que o do engenheiro possui um importante papel dentro deste processo, destacando a necessidade da alteração na sua formação para atender as novas exigências desta nova indústria, que há uma relação entre o laboratório e a Indústria 4.0, dessa forma a aplicação de suas ferramentas, tecnologias e conceitos podem gerar benefícios no ambiente de ensaios, desde que rompidos os desafios, sendo um deles a mão de obra qualificada e para isso uma estratégias de implantação foi proposta.

Palavras-Chave: Indústria 4.0; Laboratório; Ensaios.

ABSTRACT

In view of the high competitiveness in the current scenario, companies aim to improve their processes in order to reduce losses and increase quality, reliability and add value to their product. These objectives are in line with the benefits proposed by one of the biggest influencers of innovation today, Industry 4.0. In this sense, this work aims to analyze the applicability of tools related to Industry 4.0 in a product testing laboratory. To achieve these objectives, the work was based on a bibliographic review on the themes and a questionnaire with professionals in the field of essays. It was demonstrated that the engineer has an important role within this process, highlighting the need to change their training to meet the new requirements of this new industry, that there is a relationship between the laboratory and Industry 4.0, thus the application of their tools, technologies and concepts can generate benefits in the testing environment, as long as the challenges are broken, one of them being the qualified workforce, and for that, an implementation strategy was proposed.

Keywords: Industry 4.0; Laboratory; Testing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Delimitação do trabalho	15
Figura 2 - Países com maior número de publicações sobre indústria 4.0	17
Figura 3 - Evolução industrial	18
Figura 4 - Representação de uma fábrica inteligente	20
Figura 5 - Pilares da indústria 4.0.....	21
Figura 6 - Modelo de PDP	25
Figura 7 - Número de respondentes em cada faixa de tempo de atuação em seus respectivos cargos	48
Figura 8 - Sequência de etapas proposta para realização de ensaios apresentada no questionário.....	49
Figura 9 - Popularidade das tecnologias da Indústria 4.0 entre os respondentes	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABET – *Accreditation Board for Engineering and Technology*
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACATECH – *National Academy of Science and Engineering*
BCG – *Boston Consulting Group*
CEPE – Colegiado de Ensino, Pesquisa e Extensão
CGCRE – Coordenação Geral de Acreditação
CNE – Conselho Nacional de Educação
CPS – *Cyber Physical System*
DCN – Diretivas Curriculares Nacionais
DVT – *Design Validation Test*
EVT – *Engineer Validation Test*
GTAI – Instituto *Germany Trade and Invest*
GTI 4.0 – Grupo de Trabalho para a Indústria 4.0
IAAC – *Interamerican Accreditation Cooperation*
IEDI - Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial
IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina
ILAC – *International Laboratory Accreditation Cooperation*
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia
IoT – *Internet of Things*
ISO – *International Organization for Standardisation*
MCM – Máquina com Máquina
MDIC – Ministério da Indústria, Comércio e Serviços
P&D – Pesquisa e Desenvolvimento
PDP – Processo de Desenvolvimento de Produtos
PI – Projeto Integrador
PMBOK® – *Project Management Body of Knowledge*
PPC – Projeto Pedagógico De Curso
PVT – *Production Validation Test*
TI – Tecnologia da Informação
UKAS – *United Kingdom Accreditation Service*
VDI-Brasil – Associação de Engenheiros Brasil-Alemanha

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	15
1.1.1	Objetivo geral	15
1.1.2	Objetivos específicos	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	A Indústria 4.0	17
2.2	Laboratório de ensaio de produtos	24
2.2.1	Sistema de gestão de qualidade	27
2.2.1.1	ABNT NBR ISO 9001	27
2.2.1.2	ABNT NBR ISO/IEC 17025	28
2.2.2	Normalização e acreditação	31
3	O ENGENHEIRO ELETRICISTA E A INDÚSTRIA 4.0	33
4	ANÁLISE E PROPOSTA PARA IMPLEMENTAÇÃO DO LABORATÓRIO 4.0	45
4.1	Análise das respostas do questionário	47
4.1.1	Identificação	47
4.1.2	Conhecimento	48
4.1.3	Percepção e ambiente de trabalho	51
4.1.4	Análise final	53
4.2	Análise da relação da Indústria 4.0 e laboratório de ensaios	54
4.3	Análise dos desafios de implantação do laboratório 4.0	60
4.3.1	Segurança e Proteção Digital	61
4.3.2	Padronização na comunicação de dados	62
4.3.3	Flexibilização do ambiente de trabalho	62
4.3.4	Mão de obra capacitada	62
4.4	Estratégias de implantação do laboratório 4.0	63
4.4.1	Autoavaliação	65
4.4.2	Difusão e levantamento de conteúdo	66
4.4.3	Estruturação	66
4.4.4	Projetos pilotos	67
4.4.5	Qualificação	68
4.4.6	Integração	69
4.5	Análise dos benefícios de implantação do laboratório 4.0	69

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	72
5.1	Conclusões	72
5.2	Sugestão para trabalhos futuros.....	73
	REFERÊNCIAS.....	74
	APÊNDICE 1	80
	APÊNDICE 2.....	85

1 INTRODUÇÃO

O processo de desenvolvimento de produtos é um dos mais importantes dentro das indústrias manufatureiras, isso por conta da globalização, do aumento da concorrência e da atualização frenética dos produtos no mercado. O desenvolvimento de produtos envolve o conjunto de tarefas para atender uma necessidade do mercado, que terá como resultado um produto finalizado. Para garantir a sobrevivência das empresas essas etapas devem ser eficazes, flexíveis e aptas a corresponder às exigências do mercado consumidor (ROZENFELD *et al.*, 2006).

As transformações, tanto nos processos de produção quanto nos de gestão, nunca param. O desenvolvimento das tecnologias de informação (TI) e a sua capacidade de integrar processos trouxeram benefícios em toda cadeia de valor. Com esse contínuo avanço no desenvolvimento de novas tecnologias surgiu na Alemanha o conceito da Indústria 4.0, também chamada de quarta revolução industrial, cuja base é a digitalização de toda a cadeia de valor, fazendo uma fusão entre o mundo real e o mundo virtual (ALBERTIN *et al.*, 2017).

O diferencial desse novo modelo de indústria é o fato de que o processo de fabricação vai evoluindo de uma única célula automatizada, para sistemas totalmente automatizados e interligados, que se comunicam com outros, permitindo que os processos possuam maior flexibilidade, produtividade e qualidade. Isso porque, além de otimizar os processos existentes, a Indústria 4.0 também desenvolve uma cooperação mais estreita entre processos de fabricação, oferecendo novas oportunidades para benefício mútuo, flexibilidade, implicações organizacionais de longo alcance, oferecendo uma oportunidade para desenvolver novos modelos de atuação e facilitar o envolvimento de funcionários (ACATECH, 2013).

É possível evidenciar diversas etapas fundamentais que constituem os diferentes modelos de processo de desenvolvimento de produtos (PDP) existentes. Dentre essas etapas está aquela que diz respeito aos testes a serem realizados no produto que está sendo desenvolvido. Birkhofer (2011 *apud* Schneider, 2019) nomeia estas etapas de teste e verificação, funcionando como validação do design do produto e homologação, Ozdemir *et al.* (2017) as nomeiam de testes de validação, e enfatizam em seu modelo de PDP a necessidade dessa etapa. Esses testes e validações são realizados em laboratórios de ensaios, responsáveis por

apresentar os resultados e dados levantados sobre os testes aplicados no produto seguindo normas inerentes ao produto ou protocolos estipulados pelo solicitante dos ensaios (PIZZOLATO *et al.*, 2008).

Em laboratórios que realizam ensaios, há um cuidado em gerar resultados que sejam confiáveis aos seus clientes e uma atenção crítica no que diz respeito às formas de se alcançar esses resultados. Eles precisam ser suficientemente exatos e confiáveis para que os clientes possam usar o produto da forma planejada. Não se pode desprezar o fato de que por mais experientes que sejam, todos os laboratórios estão propensos a erros (PIZZOLATO *et al.*, 2008). Dessa maneira, para obter tal confiabilidade, os laboratórios devem dispor de bons equipamentos, mão-de-obra especializada, reconhecimento de órgãos credenciadores de qualidade e tecnologia (MOREIRA, 2005, *apud* PAULA, 2012).

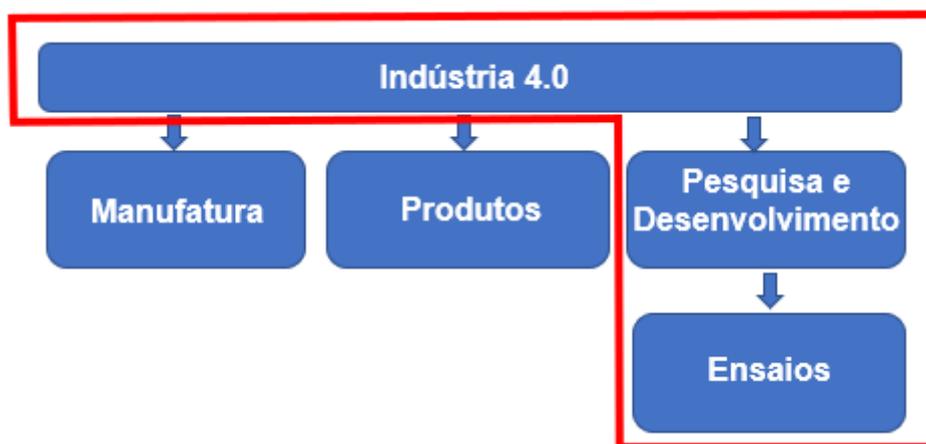
Assim, aliar essas novas tendências de sistemas produtivos à área de ensaios de produtos de uma empresa é o aspecto que o presente trabalho pretende se aprofundar. Este estudo buscará apresentar de que forma os conceitos da Indústria 4.0 podem melhorar as atividades e serviços realizados em um laboratório responsável por realizar ensaios de desenvolvimento e de certificação dos produtos de uma empresa. Permitindo buscar maneiras e métodos de como transformá-lo em um Laboratório 4.0¹, que é um laboratório alinhado aos novos conceitos da Indústria 4.0 e que utilize das ferramentas deste novo modelo de indústria, de modo a não o deixar obsoleto e torná-lo cada vez mais eficaz, permitindo elevada confiabilidade e dinamismo.

O presente trabalho atuará com pesquisa no âmbito da tecnologia a favor dos processos realizados por um laboratório de ensaios de produtos eletroeletrônicos. Especificamente de tecnologias relacionadas aos conceitos da Indústria 4.0, levando em consideração o ponto de vista de profissionais que atuam na área de ensaios e publicações voltadas a aplicação, impactos e desafios da Indústria 4.0. Para isso, será realizado um questionário com profissionais da área e, dessa forma, avaliar os impactos esperados por eles na execução dos processos realizados por um laboratório. Bem como uma análise comparativa entre os principais termos e tecnologias da Indústria 4.0 e os processos de um laboratório de ensaios através de revisão bibliográfica.

¹ O termo Laboratório 4.0 foi cunhado neste trabalho e será utilizado ao longo do texto para designar um laboratório com procedimentos dentro dos preceitos da Indústria 4.0.

Nesse sentido, a delimitação do trabalho é a apresentada na figura 1, onde é explicitado que dentre os macroprocessos industriais, que atualmente são influenciados pelas ferramentas relacionadas a Indústria 4.0, o documento avalia essas influências no macroprocesso de pesquisa e desenvolvimento, especificamente como essas tecnologias e conceitos podem melhorar os processos realizados por um laboratório de ensaios.

Figura 1 - Delimitação do trabalho



Fonte: O autor (2020)

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Analisar como as ferramentas da Indústria 4.0 podem beneficiar as atividades e processos exercidos pela área de ensaios de produtos de uma empresa, além de apresentar seus benefícios e desafios de implementação.

1.1.2 Objetivos específicos

- Buscar na literatura os conceitos atualizados de Indústria 4.0 e laboratórios de ensaios;
- Comparar e relacionar os conceitos de Indústria 4.0 com laboratório de ensaios;
- Situar o engenheiro dentro do processo de transformação e alinhamento com a quarta revolução industrial;
- Analisar os benefícios e desafios dos conceitos da Indústria 4.0 no laboratório de ensaios e propor estratégia de implantação.

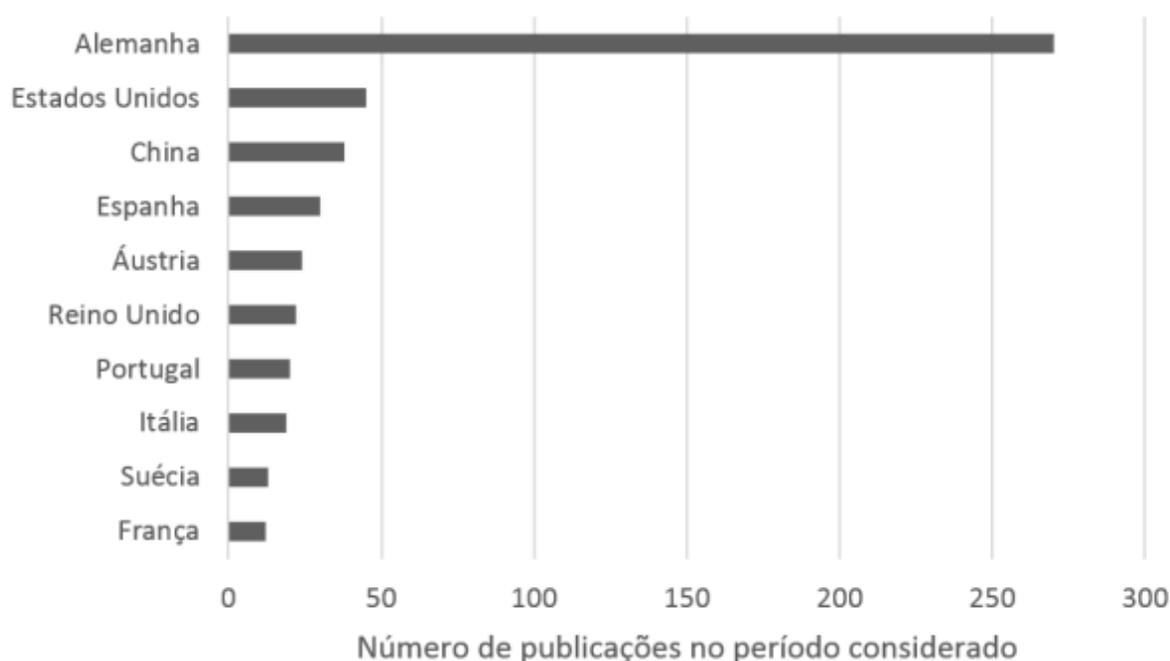
2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo é realizado uma análise comentada do estado da arte sobre os dois assuntos base deste trabalho, Indústria 4.0 e Laboratório de ensaios. Essa análise busca mostrar os pontos de vista de diferentes autores a fim de traçar um contexto teórico e elaborar a estruturação conceitual que servirá de base para o desenvolvimento da pesquisa.

2.1 A Indústria 4.0

O termo Indústria 4.0 foi originado na Alemanha por volta de 2012, o que põe esse país como aquele com maior concentração de pesquisas na área, entre 2012 e 2017 (ASSAD NETO *et al.*, 2017) conforme apresentado na figura 2.

Figura 2 - Países com maior número de publicações sobre indústria 4.0 entre 2012 e 2017



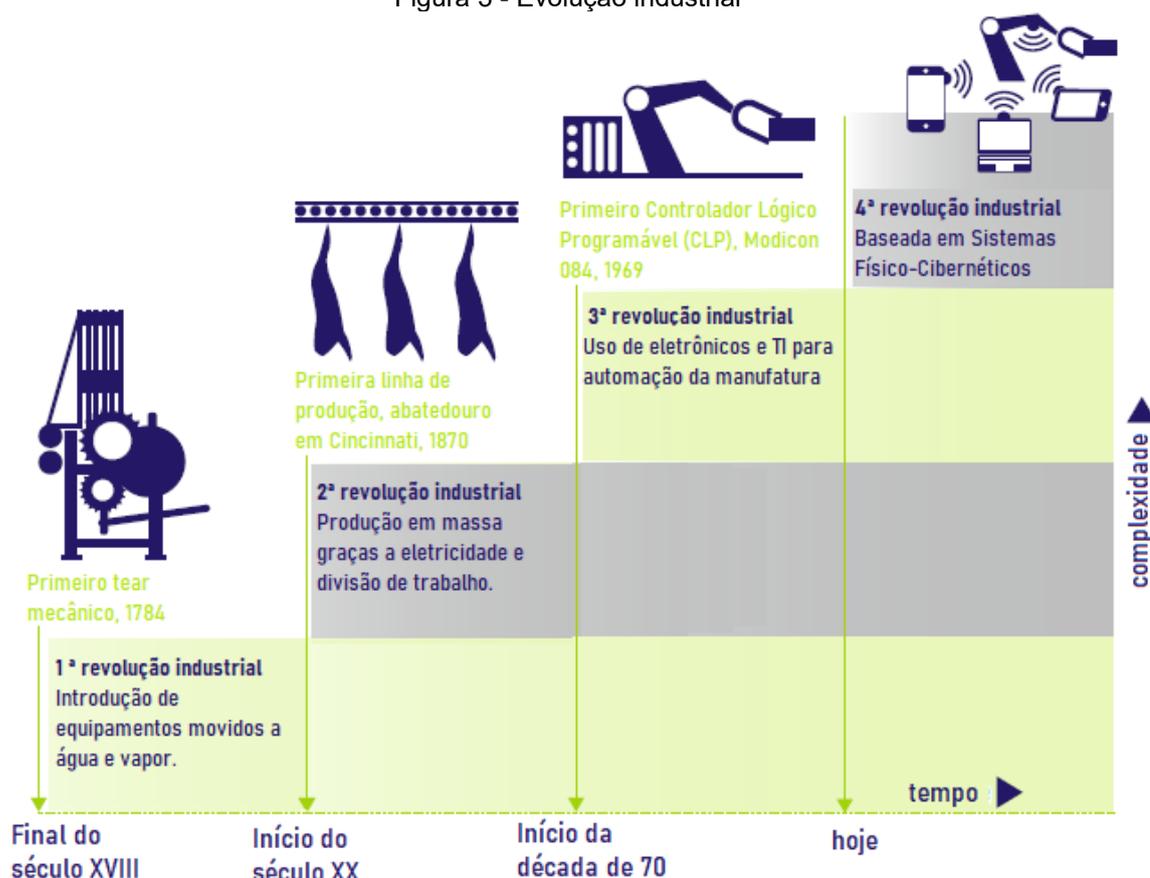
FONTE: ASSAD NETO ET AL. (2017)

O documento *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0* (ACATECH, 2013) apresenta que o termo Indústria 4.0 advém de uma iniciativa do Governo e da Indústria alemã. Porém, esse termo possui uma série de evoluções históricas por trás de sua nomenclatura.

Conforme apresentado na figura 3, a industrialização começou com a introdução de equipamentos de fabricação mecânica no final do século 18, quando máquinas, como o tear mecânico, revolucionaram a fabricação das mercadorias.

Essa, chamada de “primeira revolução”, foi seguida por uma segunda revolução que começou por volta do início do século 20 e envolveu a produção em massa, com base na divisão do trabalho. A terceira revolução industrial começou no início da década de 70. Nela iniciou-se o emprego da eletrônica e da TI para obter maior automação dos processos de fabricação, pois as máquinas assumiram uma proporção substancial do trabalho industriais (ACATECH, 2013).

Figura 3 - Evolução industrial



Fonte: Adaptado de ACATECH (2013)

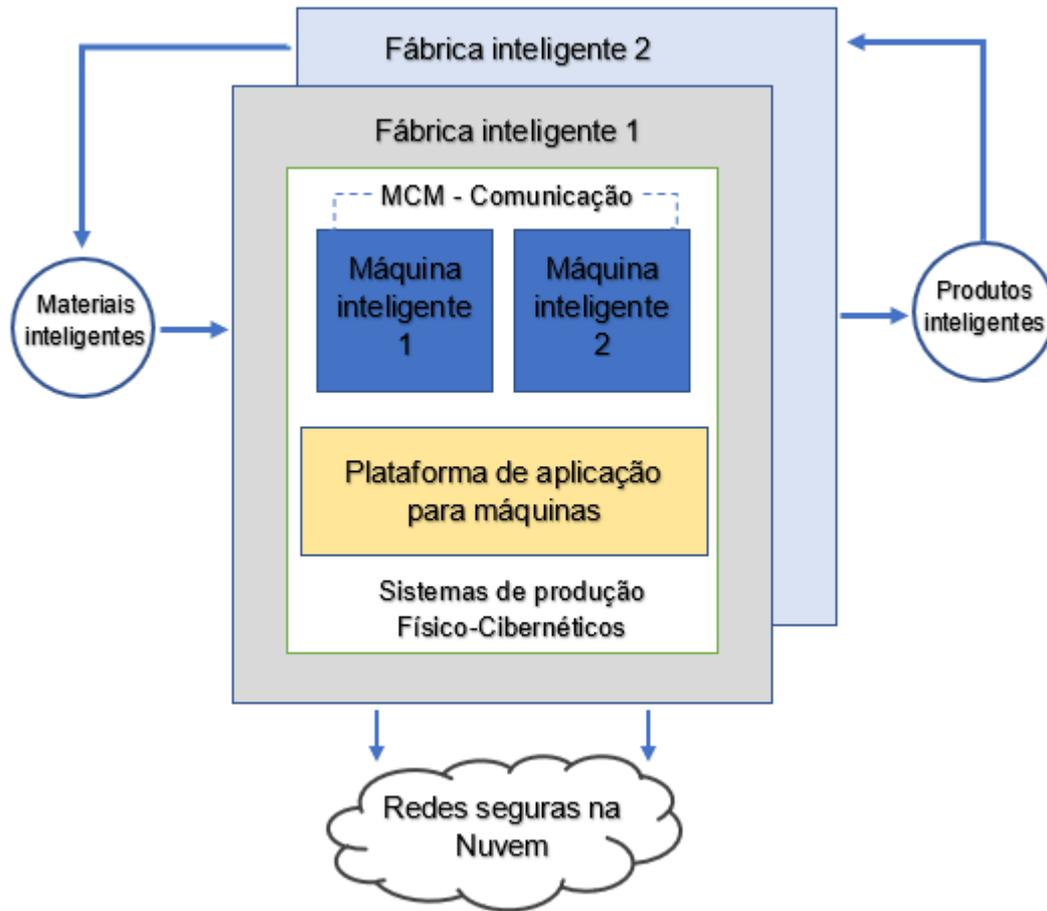
Seguindo nessa linha, ACATECH (2013) demonstra que um dos grandes marcos para a quarta revolução industrial foi a internet das coisas e afirma que essa tecnologia permite a criação de um mundo cibernético espelhado ao mundo real, sendo os sistemas cibernéticos um dos conceitos principais dentro do tema, conforme Lee *et al.* (2014) e evidenciado na figura 3. Esses autores explicam que o *Cyber-Physical Systems* (CPS)², ou sistemas físico-cibernéticos em português, são a interconectividade entre os ativos físicos e as tecnologias computacionais, conceito

² Optou-se ao longo do texto utilizar as abreviaturas dos termos em inglês por já estarem consagradas na literatura técnica especializada.

que se confunde com o *Internet of Things* (IoT), ou internet das coisas em português. Demonstram inclusive que uma das barreiras vencida, para que fosse possível tornar realidade o IoT e o CPS, foi o avanço do protocolo IPv4 para o IPv6, o qual aumenta a quantidade possível de registros digitais dos equipamentos físicos, o que possibilita a conexão de um número maior de dispositivos, conexão esta que é a base de funcionamento do IoT.

Segundo GTAI (2014) uma fábrica inteligente é o conceito de fábrica que utiliza das tecnologias da Indústria 4.0 em seus processos. Através de materiais e produtos inteligentes, que obtém dados do ciclo de produção, forma-se uma rede com a fábrica contendo máquinas inteligentes que também consigam fornecer e armazenar dados, além de se comunicarem entre si, as chamadas comunicação Máquina com Máquina (MCM). Esses dados são analisados por uma plataforma direcionada a produção que consiga identificar e/ou prever eventos e analisar estes dados através da inteligência artificial. Dessa plataforma os dados seguem para a redes seguras na nuvem. Com isso forma-se a internet das coisas e pode-se criar um CPS da produção. A figura 4 apresenta de forma simplificada a interação dessas tecnologias.

Figura 4 - Representação de uma fábrica inteligente



FONTE: Adaptado de GTAI (2014)

As ferramentas ou tecnologias da Indústria 4.0 podem ainda ser reorganizadas em nove grandes grupos denominados por BCG (2015) como pilares da Indústria 4.0 conforme observado na figura 5.

Figura 5 - Pilares da indústria 4.0



FONTE: Adaptado de BCG (2015)

A seguir serão explorados de maneira resumida o conceito de algumas das tecnologias dos nove pilares da quarta revolução industrial, segundo BCG (2015):

- Base de dados e análises - originado do termo em inglês é *Big Data*, se refere a análise de grandes conjuntos de dados oriundos de diferentes fontes, equipamentos e sistemas de produção, sistemas de gerenciamento de empresas e de clientes. No contexto da Indústria 4.0, a análise desses dados se tornará padrão para apoiar a tomada de decisões em tempo real;
- Robôs e sistemas autônomos - robôs vêm sendo utilizados na indústria há bastante tempo. Com o passar do tempo eles estão se tornando mais autônomos, flexíveis e cooperativos. O conceito de "autônomo", é importante para a indústria 4.0, tanto por meio de robôs que poderão atuar sem necessidade de supervisão ou intervenção, quanto através de sistemas que conseguirão trocar e analisar dados de mesma forma, como "robôs virtuais". Como exemplo, BCG (2015) cita a fabricante europeia de equipamentos robóticos, Kuka, que oferece robôs autônomos que são interconectados e, dessa forma, conseguem trabalhar juntos e ajustar automaticamente suas ações. Sensores de ponta e unidades de controle permitem uma estreita colaboração com seres humanos;

- Simulações - essa tecnologia já é empregada nas empresas simulando produtos, materiais e processos em ambientes 3D, na fase de projeto de engenharia ou projeto de produto. A nova abordagem é realizar a simulação em tempo real, como um espelho da realidade do mundo físico. A simulação vai desde os processos nos projetos até as configurações das máquinas no processo produtivo. Como exemplo, BCG (2015) cita a parceria da Siemens e uma desenvolvedora de máquinas alemã. Juntas, elas desenvolveram uma máquina virtual que pode simular a usinagem de peças usando dados da máquina física. Com isso o tempo de configuração do processo de usinagem real se reduz em até 80%;
- Integração dos sistemas - atualmente a maioria dos sistemas de TI não estão integrados. Empresas, fornecedores e clientes, nem mesmo departamentos como engenharia e produção estão intimamente ligados. Inclusive dentro do próprio setor, na fabricação e a própria engenharia de produtos, existe integração completa. Na Indústria 4.0, na medida em que as redes de integração de dados entre empresas evoluírem e possibilitarem cadeias de valor automatizadas as empresas, departamentos, funções e capacidades se tornarão mais coesas. ACATECH (2013) menciona que para a indústria 4.0 conseguir ser implantada com sucesso são necessárias três integrações sistêmicas:
 - a) integração horizontal: integração de vários sistemas de TI aplicados em diferentes estágios da produção e do planejamento da empresa. Como por exemplo os setores de logística de recebimento e de saída de produtos, de produção, de marketing, entre outros. Além disso, integração entre empresas diferentes. O objetivo dessa integração é fornecer uma solução de ponta a ponta da cadeia de valor;
 - b) integração vertical: integração de vários sistemas de TI em diferentes níveis de hierarquia. Como por exemplo: sensores e máquinas, controles, plano de produção, plano estratégico da empresa. Nessa integração os itens a serem integrados estão dentro de uma mesma estrutura, e integrados desde os componentes a etapas maiores de produção, chegando até aos sistemas de controle e planejamento. O

objetivo dessa integração é fornecer uma solução de ponta a ponta da cadeia de produção;

c) engenharia de ponta a ponta: do termo original *end-to-end engineering*, é a integração da engenharia em toda a cadeia de valor, tanto do produto, quanto do sistema de manufatura, para dar suporte a customização de produtos. Essa integração vai desde o projeto de um produto até o uso do consumidor final e seu caminho de retorno, dando base de análise a cadeia de valor.

- Internet industrial das coisas - atualmente, a maioria dos sensores e máquinas de uma fábrica são organizados em uma pirâmide de automação vertical. Em sua maioria possuem inteligência limitada e alimentam um sistema abrangente de controle de processos. Com a internet industrial das coisas, IoT voltada para a indústria, dispositivos enriquecidos com a computação incorporada e conectados, permitirão que exista comunicação e interação entre si e com controladores mais centralizados. Também permitirão a descentralização da análise e a tomada de decisões, permitindo respostas em tempo real;
- Segurança cibernética - com o aumento da conectividade e do uso de protocolos de comunicação que acompanham a 4ª revolução, a necessidade de proteger sistemas industriais e linhas de fabricação contra ameaças cibernéticas aumenta dramaticamente. Com isso, comunicações seguras e confiáveis, assim como gerenciamento sofisticado de identidade e de acesso de máquinas e usuários são essenciais. Compreendendo a proteção de todas as informações e dados de usuários, equipamentos e processos;
- Computação na Nuvem - O uso de *softwares* baseados na nuvem como aplicativos corporativos e de análise já são utilizados por algumas empresas. Para as aplicações da indústria 4.0 haverá uma exigência maior de compartilhamento de dados. Ao passo que, com o aumento do desempenho das tecnologias em nuvem melhorará, os dados e a funcionalidade da máquina serão cada vez mais implantados na nuvem. Isso permitirá desde serviços mais orientados a dados de sistemas de produção, até sistemas que monitoram e controlam processos;

- Manufatura aditiva - a manufatura aditiva está relacionada a chamada impressão 3D, manufatura automática de estruturas por meio da deposição de material camada sobre camada. A maioria das empresas começaram a adotar a fabricação aditiva principalmente para produzir protótipos e componentes individuais. Na Indústria 4.0, esses métodos de fabricação são amplamente utilizados, tanto em pequenos lotes de produtos personalizados, quanto em projetos leves e complexos. Sistemas de manufatura aditiva descentralizada e de alto desempenho reduzirão as distâncias de transporte e o estoque disponível. Como exemplo, BCG (2015) cita as empresas aeroespaciais que utilizam a manufatura aditiva para aplicar novos projetos que reduzem o peso da aeronave e gastos com matérias-primas como titânio;
- Realidade aumentada - sistemas baseados na realidade aumentada suportam uma variedade de serviços, podendo selecionar peças em um estoque e enviar instruções de reparo por dispositivos móveis. Com esses sistemas em pleno desempenho, colaboradores poderão receber procedimentos de trabalho e informações em tempo real para melhorar a tomada de decisão.

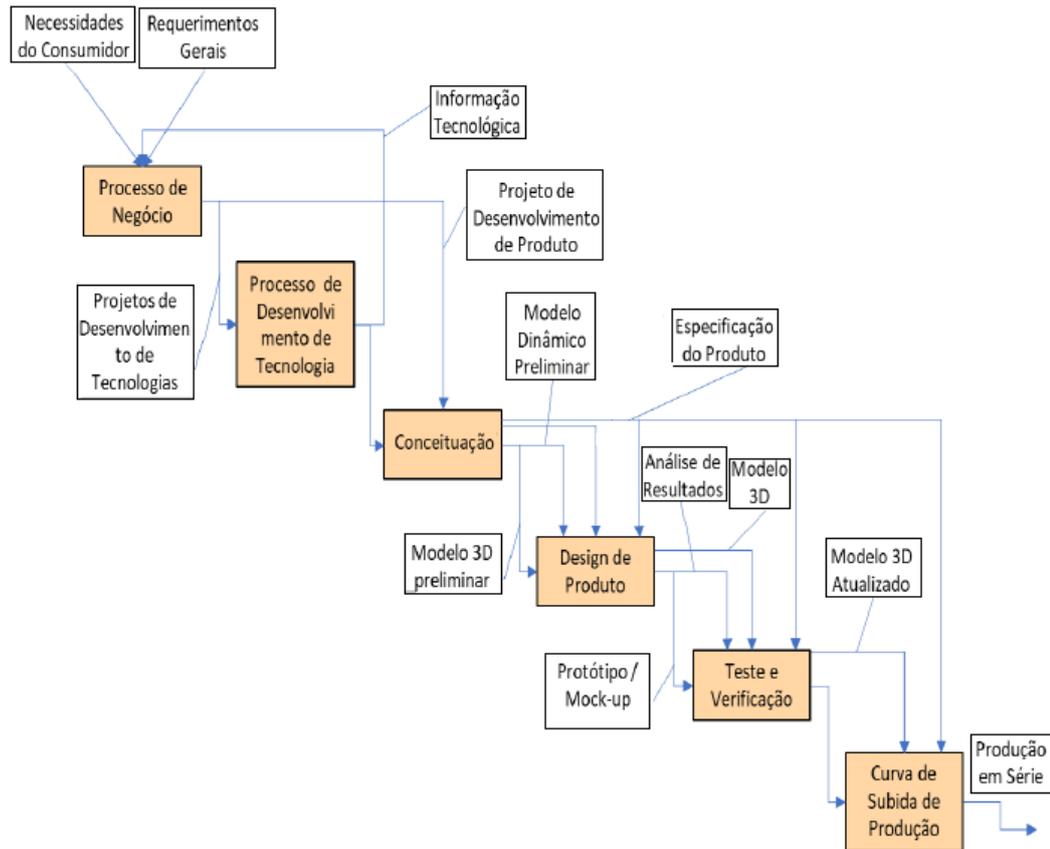
2.2 Laboratório de ensaio de produtos

Uma das principais atividades para aumentar a produtividade e a competitividade das organizações é a Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) de produtos, pois gera inovação, conhecimentos e tecnologias (SOUZA, SÁ, 2017). Souza e Sá (2017) constatam ainda que a inovação passou a ser chave para manutenção da competitividade, defendendo que em se tratando de um sistema capitalista, a competitividade teve um *upgrade* global, no qual o longe já não existe mais e o comércio pode ser realizado em qualquer hora e em qualquer lugar.

Dentro dos modelos de P&D, especialmente os modelos voltados para a indústria elétrica e eletrônica, podem ser encontradas etapas que dizem respeito aos testes e homologações dos produtos. O modelo de PDP discutido por Birkhofer (2011 *apud* Schneider, 2019) é um exemplo, nele essa parte do processo é nomeada de teste e verificação e o autor a posiciona, na escala evolucionar do projeto, na penúltima

etapa, precedendo apenas a produção em série. Na a figura 6 é possível verificar que o autor aborda essa etapa em duas etapas do processo: no momento da conceituação do produto, onde ocorre as especificações do produto, as finalidades e aplicações que ele terá, e, na validação do design do produto, já atuando com análise de resultados obtidos em testes com protótipos.

Figura 6 - Modelo de PDP



Fonte: Adaptado de Birkhofer (2011 *apud* Schneider, 2019)

Já no caso do modelo de PDP abordado por Ozdemir *et al.* (2017), quadro 1, aplicado em algumas indústrias de eletrônicos, nota-se que o modelo segue a lógica de *Stage Gates*, e que há uma ênfase consistente em testes de validação, estando em três dos quatro *Gates* abordados por eles. O *Stage-Gate* é uma ferramenta que visa melhorar o gerenciamento das atividades inerentes ao desenvolvimento de novos produtos no qual avalia os resultados por fases, os *gates*, específicas antes do início da próxima etapa, avaliando se os resultados esperados foram atingidos (COOPER, 1990).

Quadro 1 - Fases de PDP no modelo *Stage Gates*

Processo de Novo Produto nos segmentos de eletrônicos e alta tecnologia				
	Fase Inicial	Fase EVT	Fase DVT	Fase PVT
Divisão de objetivos	Marketing e P&D Características e Venda Novas tecnologias e equipamentos chave Plano de Qualidade Lista de Objetivos de Design	P&D Protótipo Desenvolvido Funcionalidades dos Componentes Chave operacionais	P&D Protótipo Piloto de Produção Teste de Conformidade	A P&D e o Produto de Produção devem estar maduros, similar ao produto de para produção Preparação e alinhamento da Fábrica para início da Produção
Saídas e requerimentos	Especificação do Produto Membros do Time de Projeto Cronograma de Projeto	Relatório do teste EVT Submissões de Segurança e EMC Diagramas e Descrição de Circuitos Testes	Relatório do teste DVT Relatório de Rendimento Verificação de Componentes Verificação pelo Consumidor	Relatório do teste PVT Relatório de Rendimento Relatório de Falhas Amostra Final Especificação do Produto
Legenda: EVT: <i>Engineering Validation Test</i> , DVT: <i>Design Validation Test</i> , PVT: <i>Production Validation Test</i>				

Fonte: Adaptado de Ozdemir *et al.* (2017)

Dessa maneira pode-se perceber a importância de competência técnica, de qualidade e credibilidade nas etapas de testes e validações, e, no setor que as realizam: os laboratórios de ensaio. Para apresentação dos requisitos de um laboratório de qualidade e confiança, faz-se necessário a compreensão do que são esses laboratórios.

Os laboratórios de ensaios podem ser divididos em duas principais categorias: Laboratórios que produzem dados para terceiros e laboratórios para uso interno das organizações. Dessa forma eles podem ser operados por organizações, podendo ser desde agências governamentais até instituições de pesquisas acadêmicas, organizações comerciais e entidades relacionadas à normalização (INMETRO, 2007).

No contexto dos cenários abordados por Souza e Sá (2017), apresentado anteriormente, Santos e Mainier (2010) dizem que há uma contribuição significativa dos laboratórios de ensaio nesses cenários, sendo os laboratórios que oferecem os serviços que darão suporte às atividades de avaliação de conformidade, à indústria e

à área metrológica. Os autores afirmam também que devido a importância dos serviços que esses laboratórios prestam, a qualidade é essencial no que diz respeito à execução das atividades.

O INMETRO (2007) explica que o principal objetivo da avaliação da conformidade é fornecer confiança nos resultados e não garantir a qualidade do produto. A qualidade do produto é uma responsabilidade do fabricante do produto, que o avalia através de uma norma ou um regulamento técnico que define os requisitos que deverão ser atendidos pelo produto. Para a avaliação de conformidade do laboratório seu sistema de gestão é avaliado através dos requisitos de normas que definem quais processos e documentos o laboratório deve possuir e executar.

Para tornar ainda mais perceptível a importância da garantia da qualidade em laboratórios de ensaio, Santos e Mainier (2010) dizem que os laboratórios são indispensáveis para garantir a integridade dos produtos. Os autores explicam também que é cada vez mais necessária a garantia da qualidade através de normas específicas para que as empresas possam disputar com grandes concorrentes no mercado.

2.2.1 Sistema de gestão de qualidade

O sistema de gestão utilizado por laboratórios de calibração e ensaio proposto pela Norma ABNT NBR ISO/IEC 17025 apresenta requisitos referentes à um sistema de gestão da qualidade de acordo com os requisitos da norma ABNT NBR ISO 9001. Estes requisitos verificam e moldam a competência técnica para a realização de calibrações e ensaios dos laboratórios, sendo assim a base para que um laboratório seja, ou não, um fornecedor qualificado e ser acreditado por um organismo independente (SANTOS e MAINIER, 2010).

2.2.1.1 ABNT NBR ISO 9001

A *International Organization for Standardisation* (ISO), conhecida no Brasil como Organização Internacional de Normalização, é uma federação sem fins lucrativos dos organismos nacionais de normalização, com sede em Genebra na Suíça. No Brasil o organismo membro da ISO é a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (APCER, 2015).

Em 1987 a ISO lançou a série 9000, um conjunto de normas que estabelecem regras relacionadas a implantação, desenvolvimento, avaliação e manutenção do

sistema de gestão da qualidade. Dentre as normas da série 9000 está a ISO 9001, norma a qual está relacionada à gestão da qualidade no que diz respeito ao conceito, design, desenvolvimento e produção de produtos e fornecimento de serviços. (QUALIDADE, 2020)

A norma ISO 9001 conta com oito princípios da qualidade, requisitos provenientes das experiências de várias organizações, que podem ser usados por qualquer empresa que desejar fazer uso do sistema:

- Foco no cliente: atender o cliente de forma satisfatória e agradável;
- Liderança: líderes atualizados sobre o mercado da empresa, e prover ferramentas para que os processos possam ser executados com eficácia;
- Abordagem de processo: relação entre: funcionários e tarefas executadas; a entrada e saída de processos e recursos para realizar as atividades;
- Abordagem sistêmica para a gestão: ver os processos como um sistema, onde exista interação de tudo que faz parte do sistema;
- Envolvimento das pessoas: a equipe de trabalho é um dos principais recursos da empresa;
- Melhoria contínua: aquisição de conhecimento por parte da equipe de como os processos devem ser realizados para atingirem a qualidade;
- Abordagem factual para tomada de decisões: através de auditorias e análises do sistema de gestão da qualidade, poderão ser tomadas decisões para melhorias nos serviços e produtos;
- Benefícios Mútuos nas Relações com os Fornecedores: funcionários e fornecedores estabelecem uma relação de parceria com a empresa, a fim de ordenar e cumprir propostas de prazos e preços;

2.2.1.2 ABNT NBR ISO/IEC 17025

Norma ABNT NBR ISO/IEC 17025 tem sua origem no documento produzido pela *International Laboratory Accreditation Cooperation* (ILAC), emitido em 1978 como um Guia da ISO, intitulado *ISO Guide 25: Guidelines for assessing the technical competence of testing laboratories*. Basicamente a norma apresenta quais os requisitos que um laboratório precisa atender para demonstrar sua competência na

realização de ensaios (SANTOS e MAINIER, 2010).

Conforme ABNT ISO/IEC 17025 (ABNT, 2017) percebe-se que ela engloba os requisitos da ISO 9001, de forma que os laboratórios que estejam em conformidade com a 17025 também operarão, de modo geral, de acordo com os princípios da ABNT NBR ISO 9001. A norma surgiu com o intuito de facilitar a interligação e cooperação entre laboratórios, apoiando o intercâmbio de experiências e informações, isso aliado a facilidade de os resultados gerados pelos laboratórios serem aceitos em outros países, após terem passado pela certificação na norma.

Devido a importância dessa norma nos processos realizados por um laboratório de ensaio, os tópicos de requisitos listados e expressos por ABNT ISO/IEC 17025 (ABNT, 2017), serão brevemente abordados para maior entendimento da abrangência das exigências estabelecidas pela norma.

- Requisitos gerais: aborda os requisitos base de um laboratório confiável, divididos em basicamente dois requisitos:
 - a) Imparcialidade: neutralidade do laboratório nos resultados. Segundo a norma, a imparcialidade deve existir em todas as atividades realizadas e em todos os setores, independente de qual seja.
 - b) Confidencialidade: a norma afirma que o laboratório é responsável pelo gerenciamento das informações, tanto as obtidas, entregues pelo cliente, quanto as criadas durante as atividades realizadas.
- Requisitos de estrutura: o laboratório deve ser legalmente responsável pelas suas atividades, sendo que estas devem estar definidas e documentadas e atender os requisitos da 17025, dos clientes e das autoridades regulamentadoras. O laboratório deve definir sua estrutura organizacional e gerencial, e, todo e qualquer colaborador do laboratório deve possuir autoridade e recursos para realizar os seus deveres.
- Requisitos de recursos: explicita quais os requisitos, relacionados a pessoal, instalações, equipamentos, sistemas e serviços devem ser atendidos.
- Requisitos do processo: aponta os requisitos relacionados aos processos realizados pelo laboratório:

- a) Análise crítica de pedidos, propostas e contratos: o cliente deve ser inserido em todo o processo, deve haver comunicação entre os colaboradores e entre colaboradores e o cliente de forma clara;
- b) Seleção, verificação e validação de métodos: os métodos criados pelo laboratório ou por terceiros devem ser adequados e os documentos e normas referentes a ele devem estar sempre atualizadas;
- c) Amostragem: o método de amostragem deve estar disponível no local onde ela for realizada a amostragem, ser baseados em métodos estatísticos apropriados;
- d) Manuseio de itens de ensaio ou calibração: todos os itens de ensaio ou calibração devem possuir um procedimento para cada operação possível de ser realizada com eles, desde o transporte até o descarte;
- e) Registros Técnicos: as atividades do laboratório que geram resultados deverão ter seus registros técnicos assegurados. Esses devem conter a data e a identificação do executante e do conferente dos dados e resultados;
- f) Avaliação da incerteza de medição: um laboratório que realiza ensaio deve avaliar a todas as contribuições para a incerteza da medição deverão ser identificadas e documentadas;
- g) Garantia da validade dos resultados: o laboratório deve possuir um procedimento para monitorar a validade dos resultados gerados por ele e conseguir aplicá-lo, podendo fazer uso da comparação de resultados de outros laboratórios;
- h) Relato de resultados: o laboratório deverá apresentar os resultados gerados em relatórios analisados criticamente e autorizados antes de serem liberados, se tornando responsável pelas informações emitidas;
- i) Reclamações: o laboratório deve possuir um processo documentado para recebimento e avaliação de reclamações, a fim de possibilitar o tratamento destas;
- j) Trabalho não conforme: o laboratório deve possuir um procedimento para tratar sempre que alguma atividade do laboratório ou os

resultados não estiverem conformes com seus procedimentos;

- k) Controle de dados e gestão da informação: todos os dados e informações necessárias para a realização das atividades do laboratório deverão estar disponíveis a todos que o compõem;

É nítido o destaque da norma para a importância de possuir procedimentos acessíveis e claros a todos, bem como documentados, assim como tudo o que ocorre dentro do laboratório.

- Requisitos do sistema de gestão: a norma ABNT ISO/IEC 17025 (ABNT, 2017) frisa a importância de o laboratório estabelecer, documentar, implementar e manter um sistema de gestão que atenda todos os requisitos da norma e assegure a qualidade dos resultados gerados. Como auxílio a norma ainda apresenta duas opções de sistema de gestão:
 - a) Opção A: Nessa opção, o laboratório deverá criar um sistema de gestão, documentá-lo e registrá-lo dentro dos requisitos da norma, seguindo todos os processos citados por ela;
 - b) Opção B: Essa opção é para os laboratórios que já tenham estabelecido e que mantenham um sistema de gestão conforme com os requisitos as ISO 9001. Com isso, o laboratório deverá apenas demonstrar o atendimento aos requisitos gerais, de estrutura, de recursos e de processo.

2.2.2 Normalização e acreditação

De acordo com a ABNT (2020): “A normalização é, assim, o processo de formulação e aplicação de regras para a solução ou prevenção de problemas, com a cooperação de todos os interessados e, em particular, para a promoção da economia global”.

A ABNT (2020) diz ainda que o principal objetivo da normalização é estabelecer soluções para assuntos repetitivos, para que sejam asseguradas as características que se deseja em um produto ou serviço. Essas soluções devem ser acordadas pelas partes interessadas e dessa forma se tornam uma poderosa ferramenta que auxilia na autodisciplina e no processo de simplificação dos assuntos.

De acordo com o INMETRO (2007), a acreditação é: “o reconhecimento formal, concedido por um organismo autorizado, de que a entidade foi avaliada, segundo guias e normas nacionais e internacionais e tem competência técnica e gerencial para realizar tarefas específicas de avaliação da conformidade de terceira parte”.

No Brasil, todas as atividades de acreditação são desenvolvidas pela Coordenação Geral de Acreditação (CGCRE), parte constituinte do Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO). O Inmetro é organismo autorizado pelo governo a executar a acreditação, sendo signatário nacional dos principais Acordos de Reconhecimento Mútuo existentes no mundo. Para isso, o Instituto avalia o cumprimento dos critérios especificados na NBR ISO/IEC 17025 e nas orientações dadas pelo ILAC e *Interamerican Accreditation Cooperation* (IAAC) (INMETRO, 2007).

Dessa forma, segundo INMETRO (2007), a acreditação é uma formalização do reconhecimento de que o laboratório atua com um sistema de gestão de qualidade em acordo com os requisitos internacionais reconhecidos, suficientemente documentado e competente para realizar os ensaios específicos. Os laboratórios são avaliados através do cumprimento de critérios especificados na NBR ISO/IEC 17025, e que isso significa o reconhecimento internacional dos serviços prestados pelo laboratório, bem como, uma redução na necessidade de reavaliações nos países importadores (INMETRO, 2007).

É considerável destacar também a importância da tecnologia como um meio para estabelecer o que se deseja atender e às finalidades a que se destinam.

3 O ENGENHEIRO ELETRICISTA E A INDÚSTRIA 4.0

A Indústria 4.0 é uma megatendência do século e tem potencial para transformar drasticamente a indústria e técnicas de produção. Também referida como a digitalização do setor manufatureiro, esse novo conceito de indústria faz uso de sensores embarcados em praticamente todos os produtos e equipamentos de fabricação, sistemas ciberfísicos onipresentes e análise de todos os dados relevantes (COSKUN *et al.*, 2019). Além de tudo o que ainda é necessário ser realizado para preparar um caminho de sucesso para a Indústria 4.0, não se pode esquecer dos profissionais que implementarão essa transformação, sendo que entre os principais estão os engenheiros e engenheiras. As atividades desempenhadas por esses profissionais mudarão muito na era digital, porém, eles permanecem sendo indispensáveis no atual momento dessa mudança, sendo atualmente os portadores do conhecimento que possibilita a resolução de problemas técnicos e certamente serão o motor que impulsionará as inovações (UNGEHEUER, 2015).

Dito isso, este capítulo apresenta como o engenheiro, mais especificamente o eletricista, está inserido nesse processo de transformação, quais as características de conhecimento e habilidades são exigidas, bem como quais as mudanças que deverão ocorrer nos perfis para que esses profissionais atendam aos requisitos e exigências dessa nova etapa da indústria mundial.

Com o crescimento da tecnologia aplicada nos mais diversos setores, a tecnologia na área elétrica aumentou e ainda aumentará muito em importância. A complexidade da engenharia aumenta na mesma proporção que a tecnologia de automação se prolifera. Ela tem que enfrentar esse desenvolvimento com flexibilidade, consistência e qualidade (OEM UPDATE, 2019).

Um dos pilares da Indústria 4.0 é a interconexão dos processos, permitindo otimização, aumentando a eficiência, flexibilidade, qualidade e customização. Para isso, são necessários produtos e processos inteligentes e confiáveis, que aumentam a competitividade de uma empresa. Nesse cenário os engenheiros eletricistas precisam pensar em soluções eficientes para que os componentes integrantes do sistema funcionem de acordo com a necessidade do processo (ROURE, 2016).

Mesmo com os avanços tecnológicos no decorrer dos anos, principalmente os que acompanham o surgimento da Indústria 4.0, a engenharia elétrica continua sendo uma das principais detentoras dos princípios da ciência elétrica. Contudo,

profissionais que possuam conhecimentos e habilidades diversas serão necessários. Esses profissionais deverão estar preparados para lidarem com todas as mudanças proporcionadas por essa nova Revolução Industrial (ROURE, 2016).

Para contextualizar com as características das ferramentas, conceitos e tecnologias da Indústria 4.0, pode-se caracterizar o Engenheiro Eletricista através do referencial do curso de engenharia no Brasil definida pelo Ministério da Educação. Segundo Ministério da Educação e Cultura (2019), o Engenheiro Eletricista é um profissional de formação generalista, habilitado a atuar na geração, transmissão, distribuição e utilização da energia elétrica.

A formação generalista é exigida para atender às diferentes solicitações profissionais transdisciplinares inerentes a atuação da Engenharia Elétrica. Essas solicitações se dão em virtude de a área de atuação ser dividida em cinco áreas interdependentes e interligadas, sendo elas: a eletrotécnica, eletrônica, telecomunicações, controle e automação e computação. Além disso, a importância da formação generalista está no fato da necessidade de profissionais diferenciados e com conhecimentos sólidos, preparados para enfrentar as adversidades que possam surgir relacionadas ao exercício da função (FILGUEIRAS *et al.*, 2019).

É vasto o número de atividades, habilidades e funções que o Engenheiro Eletricista é habilitado e capaz de realizar. A partir da revolução tecnológica tida como a terceira revolução industrial, onde surgiram novas tecnologias, tais como a eletrônica e os sistemas de telecomunicações avançados, passou-se a exigir dos profissionais conhecimentos multidisciplinares e uma forma diferente de trabalho. Com isso a engenharia elétrica absorveu diversas áreas de atuação, abrangendo inúmeras especializações em que o engenheiro eletricista pode atuar, porém todas interligadas (FILGUEIRAS *et al.*, 2019).

Na aplicação de seus conhecimentos, o engenheiro estuda, projeta e especifica materiais, componentes, dispositivos e equipamentos elétricos, eletromecânicos, magnéticos, de potência, de instrumentação, de aquisição de dados e de máquinas elétricas. Sendo habilitado a trabalhar com simulação, análise e emulação de grandes sistemas por computador, além de atendendo ao mercado industrial e aos sistemas de automação (MEC, 2019). Diante disso, percebe-se uma íntima relação entre as características curriculares dos engenheiros eletricistas com as ideias norteadoras da Indústria 4.0. Contudo, no futuro, essa profissão será marcada muito mais pela criatividade, autonomia e flexibilidade, do que pelo pensamento lógico e matemático.

Somente com essa mudança de conceito será possível acompanhar os novos desafios que estão por vir (UNGEHEUER, 2015).

Complementando, Azevedo (2017) apresenta que o novo engenheiro deve ter conhecimento alinhado com as novas tecnologias, conhecer toda a cadeia produtiva aliada ao negócio da empresa em que estiver atuando, além de ser capaz de trabalhar em equipe. Seguindo essa ideia, Ungeheuer (2015) explica que os futuros engenheiros precisarão saber se promover e deverão atuar como gerentes de inovações, operando não somente com competências técnicas, mas também interdisciplinares. Ungeheuer (2015) complementa que serão as competências interdisciplinares que prepararão o engenheiro para lidar com processos de inovação modernizados.

No início da profissão, exigia-se que os engenheiros fossem apenas competentes em projetar e gerenciar sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica (FILGUEIRAS *et al.*, 2019). Outras características como liderança ou competência administrativa, eram tidas apenas como desejáveis, não como necessárias e determinantes (VDI, 2016). Essa formação tem reflexo até os dias atuais. Segundo Azevedo (2017), a formação atual dos engenheiros não atende aos desafios proporcionados pela transformação digital e à complexidade que a ela demanda, sendo necessário rever a questão de formação de novos profissionais (AZEVEDO, 2017).

Em 2007 Cotosck (2007) citou que as disciplinas nos cursos de engenharia elétrica eram apresentadas aos alunos de forma dissociada uma das outras. O que já se contrapunha ao futuro esperado para o egresso dos cursos de engenharia. Atualmente é inegável que o engenheiro está inserido e será base de formulação de áreas integralizadas, com equipamentos utilizando diferentes tecnologias e profissionais de setores diferentes trocando informações entre si.

Em consonância com a relevância da adequação da grade de formação da engenharia elétrica com os novos conceitos de indústria, de trabalho e qualificações desses profissionais, principalmente o conceito de indústria 4.0, diversas publicações vêm sendo realizadas com estudos e pesquisas voltadas a essa necessidade. Dentre as muitas encontradas neste trabalho destaca-se aqui:

- a) Mendoza *et al.* (2018) descrevem e propõem um novo currículo para a chamada “Educação de Engenharia 4.0” (tradução direta) baseada na análise de diferentes referências e documentos essenciais que explicam

a necessidade de formar uma nova geração de profissionais, alinhados com e conhecedores dos novos modelos de trabalho, tecnologias e processos, principalmente os que se envolvam com a Indústria 4.0, fazendo uso de uma educação baseada na competência.

Considerando a mudança tecnológica pela qual o mundo está passando, onde tecnologias digitais convergem e aplicações transformam os processos industriais tornando-os mais conectados, confiável, previsível e com alto grau de certeza, os autores contextualizam a universidade como um dos agentes relevantes e essenciais para garantir o conhecimento e o desenvolvimento de competências exigidas pela quarta revolução industrial.

Para comprovar as melhorias resultantes da nova grade de formação, os principais conhecimentos passados aos alunos de engenharia atualmente - tendo como base os critérios de avaliação da *Accreditation Board for Engineering and Technology* (ABET), órgão que credencia programas de universidades norte americanas nas disciplinas de ciências naturais e aplicadas, computação, engenharia e tecnologia de engenharia nos níveis de bacharelado e mestrado - são comparados com os propostos por ela na nova formação, buscando semelhanças e apontando melhorias.

- b) Chou *et al.* (2019) defendem a inserção em massa de tecnologias interconectadas nas faculdades, iniciando com uso de computadores portáteis principalmente nas aulas em laboratórios. Os autores propõem uma estratégia educacional inovadora para engenharia, com tópicos voltados a aprendizagem em um ambiente de laboratório, para obter-se maior exploração do ambiente das aulas práticas.

O estudo analisou especificamente os computadores portáteis como uma forma de intensificar o aprendizado e inserir os alunos em um ambiente conectado, dotado de tecnologias aplicadas ao ensino baseados em sistemas condizentes com o momento da digitalização dos mais diversos ambientes, dentre eles o escolar e o industrial. A aplicação dos computadores portáteis baseou-se em uma estratégia de aplicação apresentadas pelos autores, com a finalidade de apresentar possíveis

dificuldades de inserção e resultados.

Para comprovar a eficácia do projeto, os autores adotaram um pré-teste experimental e projeto de pesquisa pós-teste. O experimento contou com 57 alunos fazendo uso *tablet* ou *laptop* durante aulas semanais em laboratório de 3 horas e durou 6 semanas. Como resultado o estudo evidenciou que o uso de equipamentos dotados de tecnologia de comunicação, sendo eles *tablets* ou *laptops*, facilitaram a aprendizagem do aluno em várias atividades.

- c) Maciejewsk *et al.* (2019) apresentam como a equipe de educadores da *Colorado State University* está redefinindo os seus métodos de ensino e aprendizado do departamento de engenharia elétrica e de computação, para condizer com as novas exigências para com os profissionais dessas áreas. Os autores abordam que nessa nova versão, não veem mais o seu programa de ensino como um conjunto de cursos ministrados isoladamente, mas sim como um sistema integrado que promove a colaboração entre professores e alunos.

Os autores descrevem o novo modelo organizacional e pedagógico utilizado de maneira aprofundada, citando diversas vezes a integração do conhecimento e a interconexão dos tópicos de conteúdo ao longo do currículo. Também compartilham como foi realizado o processo de implementação da nova abordagem, juntamente com os sucessos e desafios.

Por fim, o artigo apresenta as ideias bases que nortearam a mudança e quais mudanças-chave tiveram de ocorrer, por exemplo, extinguir frases como: olhe para a sua esquerda, olhe para a direita, apenas um de vocês se formará. Como principal atitude de melhoria os autores apresentam a mudança de perspectiva da inserção dos alunos em atividades que demonstrem a sua posição e o que ele poderá realizar na profissão, visando diminuir a evasão dos cursos.

No âmbito nacional essa preocupação também se faz presente. A Associação de Engenheiros Brasil-Alemanha (VDI-Brasil) apresenta as exigências da nova indústria para com os engenheiros, citando quais as novas características exigidas

para o então chamado “Engenheiro 4.0” (VDI-Brasil, 2016). VDI-Brasil (2017) traz um apanhado das dificuldades apresentadas pelas universidades no contexto de atrair alunos para os cursos de engenharia, mantê-los e incentivá-los a continuar atuando na área. Baseados em dados coletados e apresentados por representantes de diversas universidades, VDI-Brasil (2017) discorre que devido a defasagem do ensino do engenheiro em relação ao contexto, no qual ele será inserido após sua formação, isso é um dos grandes motivos da redução na procura pela engenharia e aumento da evasão nos cursos de engenharia.

Ainda no âmbito nacional, em 23 de janeiro de 2019, o Conselho Nacional de Educação (CNE) homologou novas Diretivas Curriculares Nacionais (DCN) para os cursos de graduação em engenharia, com objetivo de ajustar as estruturas desses cursos para formação de engenheiros capazes de enfrentar os desafios da Indústria 4.0. As principais mudanças estabelecidas nas novas DCNs são (CNE, 2019):

- Flexibilização curricular: objetiva aumentar a flexibilidade na estruturação dos cursos de Engenharia, facilitando a inovação dos modelos de formação das instituições.
- Interdisciplinaridade: devem ser realizadas atividades que promovam a integração e a interdisciplinaridade, desde o início do curso, de modo coerente com o eixo de desenvolvimento curricular, para integrar as dimensões técnicas, científicas, econômicas, sociais, ambientais e éticas.
- Formação por competências: prover meios de formar engenheiros aptos a resolver problemas e propor soluções de engenharia a partir da análise e compreensão do contexto e usuários do projeto, assim como capacidade de implementar, supervisionar e controlar essas mesmas soluções; devem ter capacidade de conceber, projetar e analisar sistemas, produtos, componentes ou processos; e também estão destacadas competências como trabalho em equipe, comunicação, capacidade de aprendizagem e preparo para lidar com situações complexas; entre outras diversas novas competências atribuídas ao engenheiro.

Assim, no período em que ocorre uma revolução tecnológica, é exigido do profissional uma abordagem complexa, sistêmica e repleta de interoperatividade, que acompanhe a constante atualização do mercado. A capacidade adaptativa dos profissionais engenheiros, deixa de ser um diferencial e passa a ser uma exigência. Caberá ao engenheiro solucionar os problemas e suprir as necessidades dessa nova

indústria, atuando muitas vezes como criatura e criador ao mesmo tempo (FILGUEIRAS *et al.*, 2019).

Finalizando, pode-se realizar a contextualização desses requisitos e estudos, com o curso de engenharia elétrica ofertado pelo Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) câmpus Joinville. O curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do IFSC câmpus Joinville foi criado em 2015, sendo ofertado no turno noturno e sua primeira turma ingressada no primeiro semestre de 2016. Em 2018, o Projeto Pedagógico De Curso (PPC) passou por alteração, sob aprovação do Colegiado de Ensino, Pesquisa e Extensão (CEPE, 2018). Uma das principais alterações no PPC foi o aumento o número de unidades curriculares optativas, além da alteração da carga horária do curso e das unidades curriculares. A maior oferta de unidades optativas objetiva permitir que o aluno curse unidades do núcleo específico de modo que seja mais atrativo para sua formação e também para as habilitações desejadas. Essa alteração é uma ação que busca a permanência e o êxito do estudante, dado que ele pode optar por unidades mais alinhadas com o seu perfil. Essa ideia se concilia com a visão apresentada MACIEJEWSK *et al.* (2019), a fim de evitar a evasão dos cursos de engenharia e aumentar o número de formados.

Segundo o CEPE (2018), o PPC da engenharia elétrica do IFSC visa oferecer uma formação completa, a partir de um currículo com uma nova perspectiva de ensino e aprendizagem, baseada, dentre outras coisas, na integração entre as diferentes áreas do conhecimento e pela existência de projetos e atividades integradoras de conhecimento, como por exemplo as unidades nomeadas de Projeto Integrador (PI). O PI objetiva desenvolver um projeto de pesquisa, aplicando conhecimentos da área elétrica e agregar conhecimentos das unidades curriculares estudadas até o presente em que o aluno está cursando, visando a integração entre a teoria e a prática. Com essa ideia, o IFSC apresenta uma opção para a problemática apontada por VDI-Brasil (2017) anteriormente, inserindo o aluno no meio em que ele atuará no futuro. Assim como uma solução para a problemática a respeito da falta de integração entre as disciplinas na qual Maciejewsk *et al.* (2019) trabalharam, bem como uma forma de incentivar os alunos a trabalharem com conceitos gestão de projetos e tempo, uma vez que para a conclusão dos PI é necessário aplicação eficiente destes conceitos.

Uma das características que o Campus Joinville objetiva para o perfil do seu Engenheiro Eletricista egresso é a inserção e adaptação rápida ao mundo do trabalho, sem perder de vista a formação generalista, humanista, crítica e reflexiva. Grande

parte dessa característica depende da integração entre a teoria e a prática no currículo e da implementação dessas ações ao longo do curso. As práticas pedagógicas de cada docente também constituem, fatores determinantes para que a referida integração aconteça de forma efetiva. Essa ideia contextualiza com o assunto tratado por VDI-Brasil (2016) e Ungeheuer (2015) a respeito das novas características exigidas do engenheiro eletricista e com o posicionamento da universidade citado por Mendoza *et al.* (2018) como sendo o pivô desta adequação para com a Indústria 4.0.

A fim de realizar uma análise mais detalhada do curso de engenharia elétrica oferecido pelo IFSC Campus Joinville, uma avaliação se faz necessária, baseada em diferentes tópicos, tais como: Grade curricular ou PPC; Infraestrutura existente nos laboratórios e Pesquisa em relação a abordagem pedagógica dos professores, da forma como cada tópico é trabalhado. Contudo, como a proposta inicial do presente trabalho possui caráter investigativo e pelos obstáculos impostos pela pandemia, dificultando o acesso aos laboratórios, a avaliação se restringirá somente a grade curricular ou PPC. Para embasar esta avaliação, utilizou-se o método de classificação apresentado por Mendoza *et al.* (2018), pode-se definir caracterizar, de maneira subjetiva, um método de ensino em:

- Iniciante: Não contextualiza o ambiente em que a atividade ocorre, alternativas nulas para o desenvolvimento da atividade;
- Iniciante avançado: Não contextualiza o ambiente em que a atividade ocorre, alternativas nulas para o desenvolvimento da atividade, estimula decisões baseadas na análise superficial dos fatores envolvidos na situação;
- Competente: Contextualiza o ambiente em que a atividade ocorre, apresenta alternativas para o desenvolvimento da atividade, estimula decisões baseadas em análises detalhadas, mas com conhecimentos insuficientes para tomar decisões com confiança;
- Competência avançada: Maior expertise e eficiência na atividade, embora ainda um pouco inseguro para tomar decisões;
- Especialista: Muita experiência na atividade, decisões tomadas com confiança para tomá-las reais.

Dessa forma, a avaliação baseia-se no quesito de determinado pilar da Indústria 4.0 apresentado na figura 5 e debatido no item 2.1, estar presente ou não na

descrição de alguma matéria no PPC e uma medida (%) do quão abrangente esse conceito é abordado nessa matéria em específico, sendo avaliado em:

- 0% - Não é mencionado;
- 25% - Fornece uma base de conceitos teóricos dentro de alguma unidade curricular, mas sem explicitar a referência com o tópico;
- 50% - Existe uma clara abordagem do tópico, mas sem uma profundidade teórica e prática consistente;
- 75% - O conceito é contemplado, seja em disciplina específica ou conjunto sequencial de abordagem teórica e prática, mas não finaliza o tema;
- 100% - A abordagem é completa, com uma abordagem de fundamentação teórica e apresentando sua aplicação dentro da indústria 4.0.

O resultado das avaliações é apresentado a seguir.

1) Base de dados e análises

- Estatística e probabilidade – 25%
- Estatística aplicada para engenharia – 50%
- Instrumentação virtual aplicada – 25%
- Programação em Labview® – 25%
- Introdução à inteligência artificial – 50%
- Redes neurais artificiais – 50%
- Processamento digital de imagens – 25%

2) Robôs e sistemas autônomos

- Sistemas de controle – 25%
- Robótica – 75%
- Fundamentos de robótica móvel – 75%
- Introdução à inteligência artificial – 75%
- Redes neurais artificiais – 75%
- Processamento digital de imagens – 25%
- Programação de robôs industriais – 75%

3) Simulações

- Desenho Técnico – 25%
- Controle – 25%
- Robótica – 25%

- 4) Integração dos sistemas
 - Comunicação de dados – 25%
 - Fundamentos de internet das coisas – 25%
- 5) Internet industrial das coisas
 - Sistemas microprocessados – 25%
 - Instrumentação eletrônica – 25%
 - Automação industrial – 25%
 - Projeto aplicado de eletrônica – 25%
 - Instrumentação virtual aplicada – 25%
 - Comunicação de dados – 50%
 - Fundamentos de internet das coisas – 75%
- 6) Segurança cibernética
 - Comunicação de dados – 25%
- 7) Computação na nuvem
 - Comunicação de dados – 25%
 - Fundamentos de internet das coisas – 25%
- 8) Manufatura aditiva
 - Desenho técnico – 25%
 - Ciência e tecnologia dos materiais – 25%
- 9) Realidade aumentada
 - 0%

De posse dos resultados das avaliações, pode-se avaliar a abordagem do conceito ou tecnologia da Indústria 4.0 de maneira geral, seguindo os mesmos critérios utilizados na avaliação em cada uma das matérias. Esta avaliação é apresentada na tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Avaliação geral da abordagem do conceito ou tecnologia da Indústria 4.0

Ferramenta ou tecnologia da Indústria 4.0	Avaliação geral
Base de dados e análises	50%
Robôs e sistemas autônomos	75%
Simulações	25%
Integração dos sistemas	25%
Internet industrial das coisas	75%
Segurança cibernética	25%
Computação na nuvem	25%
Manufatura aditiva	25%
Realidade aumentada	0%

Fonte: O autor (2021)

Através dessa abordagem, da estrutura do curso de engenharia elétrica do IFSC Campus Joinville, tanto física quanto pedagógica, percebe-se uma instituição que caminha em direção a atender os requisitos que a Indústria 4.0 está exigindo dos profissionais atualmente, diferente do que Azevedo (2017) apontou e contextualizando-se com os assuntos tratados por VDI-Brasil (2016), Ungeheuer (2015) e Mendoza *et al.* (2018). Dentre as suas principais características, a abordagem prática e dinâmica se destaca através da integração da teoria com a prática. Essa integração, juntamente com a oferta de um curso de qualidade no período noturno, enriquece ainda mais o ambiente de estudo, pois em sua ampla maioria, os estudantes já atuam em um ambiente industrial.

Por fim, percebe-se que a qualificação dos graduados, um dos desafios para traçar um caminho de sucesso para a Indústria 4.0, assim como a necessidade de uma reforma nas grades a fim de atender as novas exigências do mercado, fazem parte das linhas de debate de vários autores de diferentes nacionalidades. Contudo, no âmbito nacional, a grade estabelecida pelo IFSC possibilita a integração entre matérias e entre a escola e a indústria, através de problemas práticos trazidos pelos alunos, favorecendo assim a formação de profissionais com uma visão mais ampla do mercado de trabalho e suas exigências contemporâneas.

4 ANÁLISE E PROPOSTA PARA IMPLEMENTAÇÃO DO LABORATÓRIO 4.0

É grande a influência que a Indústria 4.0 e suas tecnologias tem sobre o mercado atualmente, e essa influência tende a aumentar cada vez mais (SANTOS *et al.*, 2018). Contudo, após uma pesquisa em aproximadamente 170 bases de dados, de 10 países diferentes, nada foi encontrado relacionando a Indústria 4.0 ou suas tecnologias e conceitos com laboratório de ensaios. Essa pesquisa utilizou bases de dados amplamente utilizadas, tais como *Explorer* IEEE, Elsevier, AAAS, *ScienceMag* e *OneFile*, em grande parte através do banco de dados da Comunidade Acadêmica Federada (CAFe) e pelo Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e em outra parte em publicações gratuitas disponíveis como livros, teses e dissertações. Para análise foram consideradas publicações de 2012 até 2020, isso porque, 2012 foi a data inicial da adoção do termo “Indústria 4.0”, pelo governo alemão e por pesquisadores.

Durante a pesquisa encontrou-se também publicações oficiais governamentais tais como a ACATECH (2013) do governo alemão, e Gallagher (2017) do governo australiano. Em ambas as publicações são apresentados as diversas melhorias e avanços que a quarta revolução industrial pode proporcionar quando aplicada, os desafios que ela demanda, debatidos os principais pilares dessa nova ideia de indústria e até mesmo estratégias de aplicação. Porém os debates ocorrem de maneira genérica, sem entrar em setores específicos, como por exemplo ensaios de produtos, oferecendo apenas uma visão geral do impacto dessas tecnologias no mercado.

Dentre os artigos e publicações analisadas, diversas delas são de origem nacional. Contando com um acervo com direcionamento de pesquisa diversificado, encontrou-se publicações sobre os desafios que o país está encontrando e irá encontrar para conseguir aplicar os conceitos da Indústria 4.0, os impactos que ela causará ao país no quesito economia e desenvolvimento, como é o caso de Santos *et al.* (2018) que os autores apresentam os desafios e as oportunidades da quarta revolução industrial.

Seguindo a linha de raciocínio dos governos alemão e australiano, o governo brasileiro possui um portal que apresenta como ele está se preparando para a Indústria 4.0. O portal é monitorado pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) e apresenta diversos dados de como o Ministério da Indústria,

Comércio e Serviços (MDIC) pretende agir para influenciar as empresas a se alinharem com a Indústria 4.0, quais os impactos esperados por ele no desenvolvimento nacional, retorno monetário e regras a serem estipuladas para investimentos através de linhas de crédito e alinhamento com a Agenda brasileira para a Indústria 4.0. Para auxiliá-lo nesse projeto, em junho de 2017 o MDIC instituiu o Grupo de Trabalho para a Indústria 4.0 (GTI 4.0), com o objetivo de elaborar uma proposta de agenda nacional para o tema. O GTI 4.0 é formado por mais de 50 instituições representantes do governo, empresas, sociedade civil organizada, entre outros. É através deste grupo que correram debates tendo como principais temas o aumento da competitividade das empresas nacionais, mudanças na estrutura produtivas, um novo mercado de trabalho, fábricas do futuro, uso de tecnologias digitais e *startups*, em pró do avanço da Indústria 4.0 no Brasil (ABDI, 2017).

Com isso, pode-se perceber que a quarta revolução industrial tem sido fortemente estudada e debatida, se mostrando como uma realidade com estudos aprofundados já existem em algumas áreas. Contudo, durante as pesquisas, observou-se a falta de correlação entre os dois termos principais desta pesquisa, que são Indústria 4.0 e laboratório de ensaios. Nas bases de dados utilizadas não foi apresentado estudos ou publicações que apontassem possíveis melhorias, aplicações ou outro conteúdo dessa relação. Isso demonstra a relevância de estudos acadêmicos escolhido para essa linha de raciocínio.

Pela ausência dessa correlação elaborou-se uma análise baseada na revisão bibliográfica do item 2 deste trabalho e também nas publicações da pesquisa supracitada, buscando realizar esta correlação. Nessa análise relacionou-se as atividades desempenhadas por um laboratório, com as ferramentas e tecnologias da Indústria 4.0 e seus benefícios, fazendo uso de exemplos e aplicações em outras áreas da indústrias que possuam finalidades parecidas. Ainda com a finalidade de buscar uma correlação e até mesmo aprofundar a pesquisa no que diz respeito a aplicabilidade dos conceitos e tecnologias da Indústria 4.0 no ambiente de um laboratório de ensaios, um questionário foi realizado para coletar as expressões e impressões dos profissionais que trabalham em um laboratório de ensaios de uma empresa multinacional fabricante de equipamentos elétricos, laboratório esse acreditado pela ISO 17025. Por fim, com base nos resultados do questionário e analisados junto com as revisões bibliográficas sobre laboratório de ensaios, Indústria 4.0 e o papel do engenheiro eletricista nesse âmbito, traçou-se análises sobre os

desafios e os benefícios de implantação e foram propostas estratégias de implantação das ferramentas, conceitos e tecnologias da Indústria 4.0 em um laboratório de ensaios elétricos e qual o papel do engenheiro eletricitista nesse cenário.

4.1 Análise das respostas do questionário

Prodanov e Freitas (2013) afirmam que o levantamento, ou *survey*, é quando a pesquisa ocorre envolvendo a interrogação direta de um grupo de pessoas os quais deseja-se conhecer o comportamento, podendo ser através de algum tipo de questionário. Nesse caso, para este trabalho, utilizou-se um questionário criado na plataforma “*Google Docs*” e foi elaborado de forma a ser respondido com praticidade e rapidez, bem como a distância devido a atual situação pandêmica. Assim, para cada um dos respondentes foi encaminhado um *link* pelo qual foi possível acessar o questionário e respondê-lo.

O questionário, apresentado no apêndice 1, possui 9 perguntas, abertas e fechadas, diretamente voltadas ao entrevistado e às atividades desempenhadas por ele na empresa na qual ele trabalha e ficou à disposição para ser respondido por 15 dias, na primeira quinzena de novembro de 2020. Os dados foram extraídos no dia 27 de novembro de 2020, obtendo um total de 15 respostas de um total de 20 colaboradores do laboratório para os quais o *link* foi enviado. Isso significa que se obteve uma amostra de 75% do total de colaboradores. A pedido da empresa foi seguido a conduta de confidencialidade, sem divulgar nenhuma informação confidencial ou que possa caracterizar o laboratório e os respondentes

Seu objetivo foi obter dados sobre a visão do profissional a respeito da relação da Indústria 4.0 com o laboratório, identificar qual o nível de conhecimento dos profissionais sobre os conceitos, termos e tecnologias aliadas a essa versão de indústria e entender o que o profissional vê como impacto positivo e possíveis desafios dessa implantação. Para alcançar esse objetivo, a seguir é apresentada a análise das questões e suas respostas, divididas em três etapas: Identificação, Conhecimento e Percepção e ambiente de trabalho.

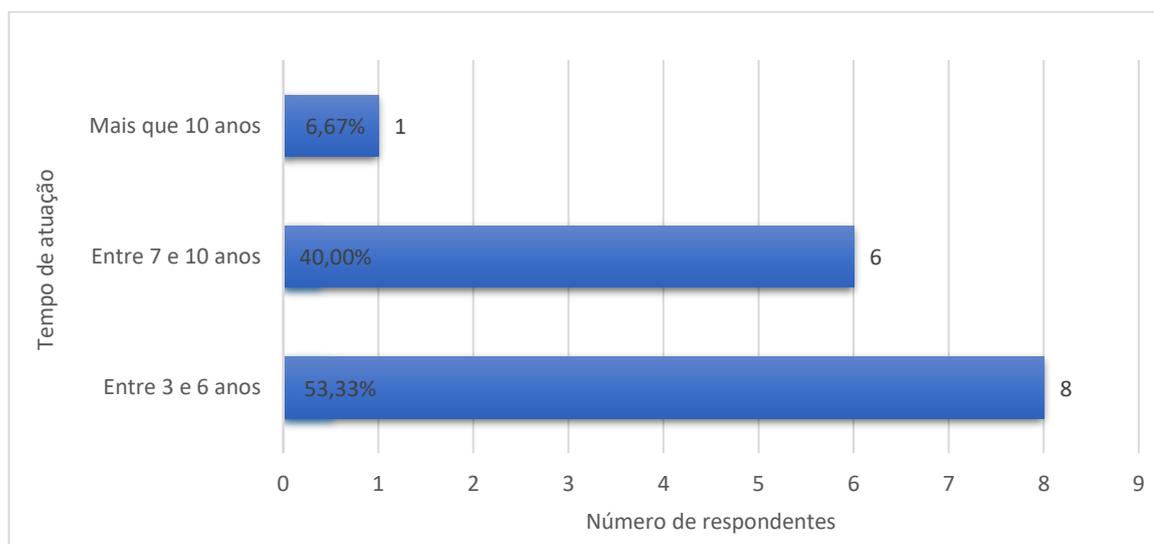
4.1.1 Identificação

Nas primeiras três perguntas foram feitas algumas perguntas de identificação do entrevistado. Para isso a primeira pergunta era sobre qual o cargo que ocupa na

empresa, a segunda quanto ao tempo que ocupa esse cargo e a terceira qual a sua formação acadêmica.

Como resposta, percebe-se que o perfil do profissional que respondeu esse questionário é variado. Quanto a função ou cargo que ocupa, 2 ocupam cargos de liderança, chefe e gerente, 5 são analistas de ensaios/certificação e 8 são laboratoristas. Dos 15 respondentes, 5 possuem formação em engenharia elétrica, dos quais 4 são mestres nessa mesma área e 10 possuem curso técnico em eletrotécnica. Dos 10 técnicos, 3 estão cursando engenharia elétrica. Em relação ao tempo de atuação dos respondentes, nenhum deles atua a menos de 3 anos em seus respectivos cargos. No figura 7 são fornecidos os dados do tempo de atuação dos respondentes. Aqueles que atuam entre 3 e 6 anos representam 53,33% dos respondentes, 8 profissionais. Já os que possuem entre 7 e 10 anos de atuação, representam 40%, 6 profissionais e apenas 6,67%, 1 dos respondentes, atuam a mais de 10 anos.

Figura 7 - Número de respondentes em cada faixa de tempo de atuação em seus respectivos cargos



Fonte: O autor (2021)

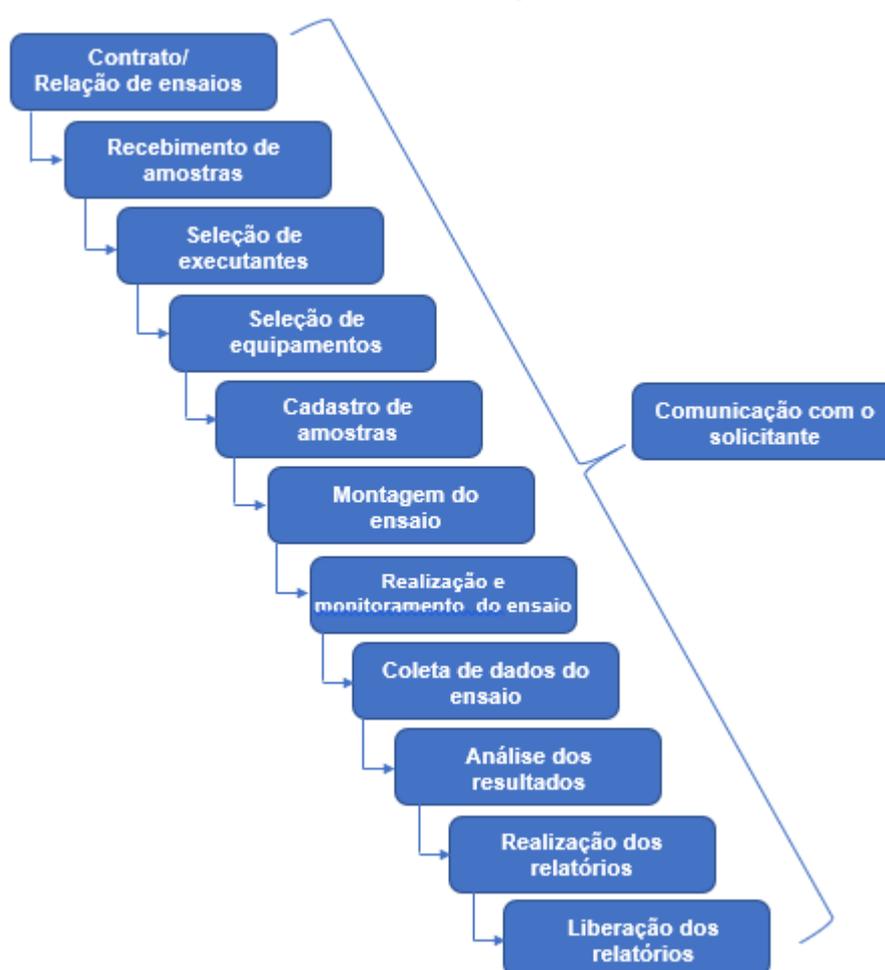
4.1.2 Conhecimento

Nesta etapa buscou-se verificar a visão dos profissionais da área a respeito das atividades desempenhadas pelo laboratório e o seu conhecimento a respeito das tecnologias, ferramentas e conceitos associados a Indústria 4.0. Para isso, na quarta questão foi apresentada uma sequência de etapas dos processos de realização de atividades e solicitado que os respondentes avaliassem se ela estava coerente com a

utilizada pelo laboratório em que atuam e caso não estivesse de acordo, que citassem a diferença.

A sequência apresentada na questão 4 e na figura 8, segue as exigências da ISO 17025. A norma não cita ou exemplifica um modelo único de sequência de etapas para a realização de um ensaio em um laboratório de ensaios acreditado, apenas aponta o que deve ser feito e como deve ser registrado cada uma das etapas, devido a isso, a sequência utilizada no questionário foi criada baseando-se na ISO 17025 e estruturas encontradas na literatura.

Figura 8 - Sequência de etapas proposta para realização de ensaios apresentada no questionário



Fonte: O autor (2021)

Como resposta da quarta pergunta, apenas 3 profissionais consultados apresentaram divergência com a sequência de etapas proposta, 2 deles apenas na posição da atividade e um acrescentando uma etapa. As respostas obtidas dessa pergunta são bastante úteis, pois apresentam as etapas em que se pode aplicar os conceitos e tecnologias da Indústria 4.0. Mesmo sendo etapas macro das atividades

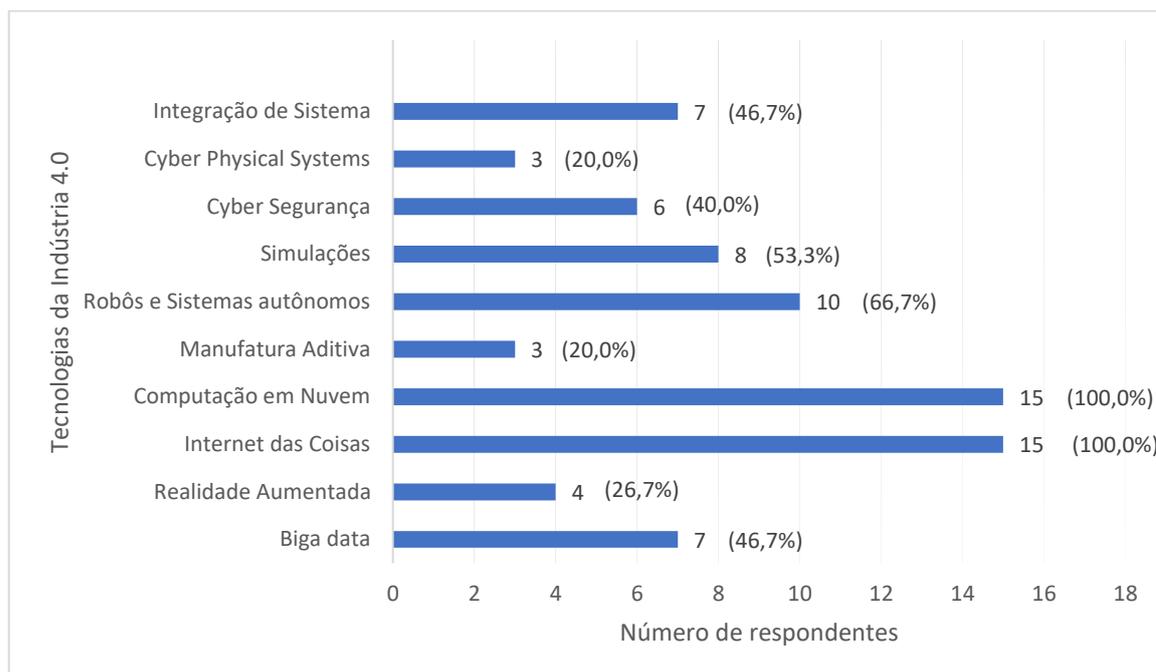
de um laboratório, elas apontam a direção em que a análise de aplicabilidade pode ser realizada, além de estar coerente com as definições iniciais da ISO 17025.

Na quinta e sexta pergunta buscou-se identificar quais as tecnologias, ferramentas ou conceitos são mais populares entre os profissionais da área. Para isso as 10 ferramentas da Indústria 4.0 listadas a seguir foram apresentadas aos respondentes, sendo que, na quinta questão eles deveriam apontar quais delas lhes eram conhecidas e, na sexta questão, apontassem algumas outras ferramentas conhecidas por eles que não estavam listadas.

- *Big data*
- Realidade Aumentada
- Internet das Coisas
- Computação em Nuvem
- Manufatura Aditiva
- Robôs e Sistemas autônomos
- Simulações
- *Cyber* Segurança
- *Cyber Physical Systems*
- Integração de Sistema

Como resposta, as mais populares foram a internet das coisas e Computação na nuvem, com 100% dos respondentes indicando conhece-las, seguidas por Robôs e Sistemas autônomos, *Big data* e Simulações. As menos conhecidas foram Manufatura Aditiva e CPS, apontadas por apenas 3 respondentes. Na sexta questão, apenas 2 respondentes apontaram conhecer a Inteligência artificial como ferramenta da Indústria 4.0, que não estava relacionada na lista apresentada acima. O figura 9 a seguir apresenta o resultado completo das respostas da quinta questão.

Figura 9 - Popularidade das tecnologias da Indústria 4.0 entre os respondentes



Fonte: O autor (2021)

4.1.3 Percepção e ambiente de trabalho

Nesta etapa buscou-se verificar a percepção dos profissionais respondentes a respeito da aplicabilidade das tecnologias da Indústria 4.0 no laboratório, seus impactos e desafios. Para isso, na sétima questão, foi perguntado aos respondentes se já eram aplicadas alguma tecnologia, ferramenta ou conceito da Indústria 4.0 nas atividades desenvolvidas pela empresa onde trabalha o respondente. Como resposta obteve-se que pela empresa no geral sim, mas especificamente na área de ensaios ainda não. Contudo as ferramentas mais aplicadas na empresa foram: *Big Data*, Computação em Nuvem, Robôs e Sistemas autônomos, *Cyber Segurança* e Integração de Sistemas e IoT. Essa informação é bastante relevante, pois caracteriza as informações citadas anteriormente de que as ferramentas da quarta revolução industrial estão amplamente aplicadas nas mais diversas áreas da indústria, porém, em laboratórios ensaios ainda não estão presentes de maneira condizente com o avanço nas demais áreas.

Seguindo nessa linha de raciocínio, na oitava questão solicitou-se que o respondente efetuasse uma correlação entre as ferramentas e tecnologias da Indústria 4.0, com as atividades realizadas em um laboratório de ensaio, tendo como base nos tópicos da ISO 17025 e apresentadas na figura 8. Para isso um resumo dos

conceitos das tecnologias e conceitos da Indústria 4.0 foi fornecido aos profissionais consultados, para que eles se inteirassem do que se trata cada tecnologia caso não tivessem conhecimento.

Como resultado dessa correlação, obteve-se que ao menos uma das ferramentas da Indústria 4.0 foi correlacionada com uma das etapas para realização das atividades do laboratório por pelo menos um dos respondentes. Além das ferramentas apresentadas, 9 respondentes adicionaram a Inteligência artificial como ferramenta aplicável em alguma das etapas apresentadas. Isso demonstra que, para os profissionais que atuam na área de ensaios, existe sim uma aplicabilidade dos conceitos atuais da quarta revolução industrial, ao menos na percepção destes.

Ainda como resultado da oitava questão, as ferramentas correlacionadas por mais respondentes com um maior número de etapas das atividades foram, em ordem decrescente: Computação em Nuvem, Internet das Coisas, *Big data*, Integração de Sistemas e Robôs e Sistemas autônomos. Comparando esse resultado com a resposta da quinta questão, percebe-se que estas 5 ferramentas também estavam entre as mais populares entre os respondentes. Isso aponta que o conhecer mais aprofundado da ferramenta influencia na concepção de uma possível aplicação. Isso ressalta novamente a necessidade de uma maior inserção dos conceitos da Indústria 4.0 nessa área de trabalho.

Por fim, foi solicitado que cada profissional respondente apontasse, na perspectiva dele, quais seriam os possíveis impactos, desafios, benefícios ou malefícios da inserção das ferramentas/tecnologias da Indústria 4.0 nas atividades de um laboratório de ensaios. Os termos mais expressados ou as ideias mais apresentadas nas respostas estão relacionadas a seguir:

- Benefícios: aumento da produtividade, padronização e confiabilidade, diminuição de erros, ações preventivas em equipamentos, melhora na comunicação e melhor gestão de recursos;
- Malefícios: dependência total do sistema 4.0, demora na aquisição de conhecimento para dominar a ferramenta, período prolongado até que as ferramentas fossem efetivamente implementadas e fragilidade na questão de segurança de dados;
- Impactos: redução da intervenção humana, melhora na organização e estrutura do laboratório, bem como urgência na implantação dos sistemas;
- Desafios: segurança dos dados e informações, robustez de sistemas,

investimentos, treinamento para os colaboradores assimilarem tais tecnologias, garantia de segurança para estes e alcançar alto nível de flexibilidade para que se possa realizar diferentes ensaios e produtos.

4.1.4 Análise final

As respostas obtidas através do questionário se mostraram valiosas no âmbito dos objetivos deste trabalho, apresentando um bom ponto de partida para propostas de aplicação das tecnologias e conceitos da Indústria 4.0. Mesmo sendo um pequeno grupo de apenas uma empresa em específico, através dele pôde-se confirmar algumas características desse meio:

- A sequência de etapas para realização de atividades de um laboratório acreditado. Para que se possa propor melhorias, primeiramente é necessário entender e saber quais etapas compõem o processo, para então projetar ideias de inovação, mudanças e melhorias;
- A visão desse grupo para com novidades emergentes dessa nova forma de indústria. Mesmo sem ter tecnologias ou ferramentas da Indústria 4.0 implantadas em seu ambiente de trabalho, os profissionais se mostraram alinhados com as tecnologias e conceitos da quarta revolução industrial, característica fundamental para a sua implantação; e
- O entendimento do comprometimento dos profissionais desta área com a manutenção de qualidade, não só dos resultados, mas também do ambiente de trabalho, com segurança e consciência de que estas inovações impactam no seu dia-a-dia.

Após análise das respostas do questionário, pode-se perceber que o ponto de vista dos respondentes a respeito dos impactos, desafios, benefícios e malefícios da introdução e aplicação dos conceitos da quarta revolução na execução das atividades do laboratório, estão alinhados com a visão apresentada na revisão bibliográfica. Principalmente com os pontos de aumento de produtividade e padronização, necessidade de aumento na *cyber* segurança, robustez de sistemas e em investimentos, também citados por ACATECH (2013) e Gallagher (2017).

No assunto *cyber* segurança e padronização, pode-se perceber a conscientização dos profissionais com o atendimento dos requisitos da ABNT ISO/IEC 17025 (ABNT, 2017) para manutenção da acreditação do laboratório e da ABNT NBR

ISO 9001. Com isso percebe-se mais um item importante de avaliação para aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 no laboratório, tendo em vista os requisitos normativos.

Com tudo, as informações supracitadas e analisadas possuem alta relevância para o assunto estudado neste trabalho. As respostas adquiridas através do questionário serão utilizadas para fomentar ainda mais as análises descritas nos próximos itens, servindo como base para debate e ponto de partida para pesquisas.

4.2 Análise da relação da Indústria 4.0 e laboratório de ensaios

Santos *et al.* (2018) explica que a evolução das tecnologias de informação e a introdução dessas nos processos de produção estão transformando a indústria atual, fazendo com que ela alcance um novo nível de desenvolvimento organizacional. A fim de aproveitar os diversos benefícios dessas tecnologias, uma mudança de paradigma na fabricação está sendo amplamente discutida: Indústria 4.0 ou 4ª Revolução Industrial.

Na era da digitalização e da Indústria 4.0, os laboratórios também devem se preparar e se transformar para o futuro. Alinhando com os conceitos e utilizando das ferramentas emergidas pela 4ª revolução industrial, o Laboratório 4.0 fará uso de sistemas robóticos e automação, digitalização total, um ambiente de trabalho flexível e modular, materiais inteligentes e superfícies funcionais (LABVOLUTION, 2017).

Atualmente existe a necessidade de capacitar as áreas aos conceitos da 4ª revolução industrial e isso possibilitará a troca rápida e fácil de informação dentro dos subprocessos de cada etapa, agregando valor e credibilidade aos processos (SANTOS *et al.*, 2018). Em sua pesquisa, Santos *et al.* (2018) contextualizam que todas as etapas de produção utilizarão essas novas ferramentas, inclusive e principalmente as mais burocráticas, como por exemplo a de homologações e liberação de produtos.

Lideradas pela Alemanha, economias globalmente avançadas estão adotando a Indústria 4.0 e as tecnologia relacionadas a ela. O governo alemão estabeleceu plataformas para auxiliar suas empresas a compreender e explorar as estratégias e oportunidades da Indústria 4.0, particularmente nas áreas de padronização e normas, segurança, pesquisa e transformação do proletariado (GALLAGHER, 2017).

Seguindo nesse raciocínio, Pizzolato *et al.* (2008) apresenta um olhar sobre os laboratórios de ensaios. Segundo o autor, países líderes na produção de

equipamentos e tecnologias de produtos possuem em comum um planejamento setorial implementado, disponibilidade de laboratórios e centros de pesquisa, além de um nível crescente de educação da população e tecnologias aplicadas no setor produtivo. Esse cenário ainda não está presente no Brasil, de maneira que devem ser realizados estudos direcionados a essa área (PIZZOLATO *et al.*, 2008).

Laboratórios de ensaios convivem com a necessidade de possuir um alto nível de organização para conseguir realizar seus serviços de forma que seja garantida a confiança das atividades desempenhadas e dos serviços prestados (FRANCHI *et al.*, 2018). Essa mesma necessidade está presente, também, nos laboratórios de análises clínicas, que vem aplicando amplamente os conceitos, ferramentas e tecnologias da Indústria 4.0. Mesmo que de uma perspectiva diferente, esses laboratórios estão se modernizando e se transformando em um ambiente flexível, modular e funcional. Essa transformação permite que o laboratório possa ser reconfigurado e reorganizado conforme necessário. Isso tudo através da Indústria 4.0 e seus conceitos designs modulares que favorecem o fluxo de trabalho (LABVOLUTION, 2017).

Outro ponto crucial dos laboratórios de ensaio está na qualidade e confiabilidade de seus resultados. Essa competência deverá ser assegurada pelo laboratório (ABNT, 2017). Contudo, melhorias de qualidade e reprodutibilidade podem ser alcançadas em laboratórios de ensaios por meio do uso de automação. As soluções de automação colocam o padrão mais alto com a promessa de agilidade, flexibilidade, alta qualidade e produção eficiente, conforme Labvolution (2017), que vê nessas características o verdadeiro poder da Indústria 4.0.

Para laboratórios de ensaios, a acreditação pode ser vista como uma ferramenta que pode contribuir para a eficiência operacional, poupando tempo e dinheiro pela redução da burocracia e auxílio com a gestão de riscos e aspectos-chaves de tomada de decisão (ILAC, 2015). Dessa forma, três fatores impulsionadores da competitividade, identificados por Gallagher (2017), alinham-se com os benefícios potenciais da Indústria 4.0 e benefícios da acreditação, sendo eles: redução de custos, melhora no retorno e aumentar do valor de mercado.

No contexto da acreditação, a ABNT ISO/IEC 17025 cita que um laboratório de ensaios deve ser capaz de atender aos requisitos dos clientes e também das autoridades regulamentadoras e organizações (ABNT, 2017). A acreditação é um dos pilares que sustentam o sistema da qualidade junto com a metrologia, a normalização e a avaliação da conformidade e, para que esse processo acompanhe a evolução

tecnológica, a CGCRE dispõe, para o médio e longo prazo, o projeto de acreditação inteligente ou auditoria 4.0. Esse projeto ainda está na fase de ideias e reflexões sobre os processos. Contudo, a sua implantação permitirá introduzir os avanços trazidos pelas tecnologias de informação e comunicação nas atividades do Inmetro e, de modo particular, para a área de acreditação (OLIVEIRA, 2018)

Através da implantação de projetos como o da acreditação 4.0, ou acreditação inteligente, o acompanhamento de perto do resultado dos ensaios será facilitado, além de reduzir o tempo das certificações. Como resultado, o consumidor receberá produtos, processos e serviços com muito mais credibilidade, isso porque, tudo será feito de forma rápida, com pouca intervenção humana e com a realização do ensaio sendo monitorada 100% do tempo, diminuindo a possibilidade de fraude.

Nessa mesma linha de raciocínio, organismos de certificação e inspeção credenciados já estão fornecendo sistemas baseados em nuvem para fornecer maior percepção aos clientes e suas cadeias de suprimentos. É o caso *do United Kingdom Accreditation Service (UKAS)* que fornece um banco de dados para apoiar as cadeias de abastecimento e ter acesso a dados e indicador-chave de desempenho de qualidade detalhados sobre o fornecedor, auditor e organismo de certificação (BOHUN, 2019).

O ambiente tecnológico em mudança, em função das oportunidades de melhoria da Indústria 4.0, fornece à indústria de teste, inspeção e certificação a oportunidade de se conectar e interagir de forma mais eficiente e eficaz com seus clientes e com o restante da cadeia de valor. A tecnologia e o comportamento do consumidor estão influenciando a maneira como o risco, a segurança, a proteção e o desempenho de um produto ou serviço é avaliado (BOHUN, 2019).

Apesar desse cenário de mudança, o desejo do consumidor por qualidade, segurança e sustentabilidade permanece intacto. A avaliação de conformidade credenciada e aliada às tecnologias e ferramentas da quarta revolução industrial proporcionará confiança, tanto na verificação das informações que alimentam os sistemas de certificação quanto na garantia de confidencialidade dessas informações e do seu correto tratamento (BOHUN, 2019).

Quanto à segurança cibernética de dados, a Indústria 4.0 e o laboratório possuem em comum o mesmo desafio, encontrar maneiras de manter segurança de dados. Esse tema é um item fundamental abordado pela ABNT ISO/IEC 17025, que cita que o laboratório de ensaios necessita manter sua confiabilidade e a segurança

dos dados que levanta. O tema está presente também nas respostas do questionário, onde o respondente cita a necessidade de garantir a segurança dos dados trabalhados pelo laboratório, que são extremamente confidenciais, para que exista uma atualização das ferramentas aplicável.

Em suma, os laboratórios devem sempre estar atualizados e alinhados com novas tecnologias que possam auxiliá-lo a manter a qualidade, confiabilidade e produtividade (PIZZOLATO *et al.*, 2008). Atualmente, a Indústria 4.0, com sua proposta de um inteligente e autorregulado processo de fabricação, automatizado, com CPS, produzindo mais e com mais qualidade, se apresenta como um ótimo aliado nessa busca dos laboratórios de ensaio (GALLAGHER, 2017).

Contudo, atualizar-se para o Laboratório 4.0 é algo que tem se mostrado um método valioso. A digitalização melhora o planejamento, o controle e a garantia da qualidade (LABVOLUTION, 2017), bem como na forma como os relacionamentos com os clientes são gerenciados, por meio de *self-service* para plataformas digitais para apoiar o gerenciamento de suas avaliações (BOHUN, 2019). Com o laboratório alinhado aos conceitos e tecnologias da Indústria 4.0, a análise dos dados facilitará a supervisão dos organismos de avaliação da conformidade por meio do monitoramento contínuo da competência e da análise de desempenho (LABVOLUTION, 2017), sendo este um dos objetivos do projeto de auditoria 4.0 citado por Oliveira (2018). Além disso, Bastos (2018) e Donatelli (2018), apresentam esta adequação como uma futura exigência para áreas que se relacionem com a indústria, principalmente em ambientes metrológicos, incorporando o termo metrologia 4.0 ao debate de adequação para com a Indústria 4.0.

Bastos (2018) cita em sua publicação como o sistema de calibrações está sendo envolvido no processo de adequação da Indústria 4.0, principalmente da necessidade de se implantar um Sistema Integrado de Metrologia Produtiva, em que a integração entre padrões de calibração poderá gerar ações inovadoras e customizadas, com resultados colaborativos no processo de tomada de decisão entre ajustar, calibrar ou substituir um instrumento em calibração. Uma das principais exigências citadas pelo autor é a conexão dos calibradores com a rede do cliente e com o sistema de gerenciamento e planejamento de recursos das organizações.

Seguindo nesta mesma linha, Donatelli (2018) apresenta a evolução dos laboratórios metrológicos no contexto da Indústria 4.0, sendo que o Laboratório metrológico 4.0 possuirá princípios de Interoperabilidade, transparência da

Informação, assistência técnica e decisões descentralizadas. Com isso, o autor apresenta 5 propostas para transformar o laboratório de metrologia em um Laboratório metrológico 4.0, sendo elas:

- Dinamizar a oferta de serviços e digitalizar a interface comercial: Através da flexibilização da capacidade de medição e prazo, da customização por combinação de módulos, fundamentando assim a criação cooperativa de novos serviços com a digitalização da interface comercial e apresentação digital de resultados;
- Alinhar os serviços com as novas tecnologias de fabricação e medição: Serviços voltados à manufatura aditiva, de calibração e verificação através de sistemas de medição da máquina e na máquina e serviços de monitoramento remoto, fazendo uso principalmente de técnicas ópticas e tomógrafos;
- Promover a comunicação técnica remota e interativa de procedimentos e resultados: Fazer uso da telepresença e realidade aumentada para auxiliar no debate e conexão com clientes, fornecedores e parceiros, assistência técnica dos equipamentos com apoio da internet facilitando o monitoramento e diagnóstico e estimulando o uso compartilhado de equipamentos através da operação remota de sistemas de medição do laboratório;
- Entregar informação e conhecimento, além de resultados de medição: Apresentar diagnósticos, previsões e recomendações baseadas em dados, com estudos estatísticos dos processos de fabricação e medição, bem como análises de causas de variação e proposição de melhorias, especificação de bases de dados para qualidade e metrologia;
- Automatizar os processos de medição e inspeção: Através da parametrização fazendo uso do reaproveitamento de dados armazenados, sistemas de busca inteligentes, reconhecimento automática de peças, padrões e amostras, aplicando tecnologias de rastreamento, manipuladores e robôs.

Dessa forma, com base nas abordagens apresentados por Bastos (2018) e Donatelli (2018), bem como nas respostas da oitava questão do questionário, na tabela 2 propõe-se algumas ferramentas e tecnologias da Indústria 4.0 aplicáveis aos processos/etapas de atividades desempenhadas pelo laboratório apresentadas na figura 8, a fim de estreitar ainda mais a relação da Indústria 4.0 com os laboratórios

de ensaios.

Tabela 2 - Ferramentas e tecnologias da Indústria 4.0 aplicáveis aos processos/etapas de atividades desempenhadas pelo laboratório

Processo/etapas de atividades	Ferramentas, conceitos ou tecnologias da Indústria 4.0 aplicáveis
Contrato/ Relação de ensaios	Big data; Internet das Coisas; Computação em Nuvem; Cyber Segurança; Integração de Sistema
Recebimento de amostras	Big data; Internet das Coisas; Computação em Nuvem; Integração de Sistema
Seleção de executantes	Big data; Realidade Aumentada; Internet das Coisas; Computação em Nuvem; Integração de Sistema
Seleção de equipamentos	Big data; Realidade Aumentada; Internet das Coisas; Computação em Nuvem; Cyber Physical Systems; Integração de Sistema
Cadastro de amostras	Big data; Internet das Coisas; Computação em Nuvem; Cyber Segurança; Integração de Sistema
Montagem do ensaio	Realidade Aumentada; Manufatura Aditiva; Robôs e Sistemas autônomos; Simulações; Cyber Physical Systems
Realização e monitoramento do ensaio	Big data; Realidade Aumentada; Internet das Coisas; Computação em Nuvem; Manufatura Aditiva; Robôs e Sistemas autônomos; Simulações; Cyber Segurança; Cyber Physical Systems
Coleta de dados do ensaio	Big data; Internet das Coisas; Computação em Nuvem; Cyber Segurança; Cyber Physical Systems; Integração de Sistema
Análise dos resultados	Big data; Internet das Coisas; Computação em Nuvem; Cyber Segurança; Integração de Sistema
Realização dos relatórios	Big data; Internet das Coisas; Computação em Nuvem; Cyber Segurança; Integração de Sistema
Liberação dos relatórios	Big data; Internet das Coisas; Computação em Nuvem; Cyber Segurança; Integração de Sistema
Comunicação com o solicitante	Big data; Realidade Aumentada; Internet das Coisas; Computação em Nuvem; Cyber Segurança; Cyber Physical Systems; Integração de Sistema

Fonte: O autor (2021)

Por fim, percebe-se a relação direta dos laboratórios de ensaios com o desenvolvimento e manutenção de competências avançadas de metrologia, bem como a aquisição e operação de equipamentos altamente especializados na aquisição de dados. A transformação digital do laboratório é uma inovação em processos e sua implementação demandará esforços e recursos financeiros significativos (DONATELLI, 2018). Contudo, será este o caminho que garantirá que o credenciamento, a indústria de teste, inspeção e certificação e outros parceiros de infraestrutura de qualidade tradicional, permaneçam relevantes e continuem a ser um

provedor de confiança (BOHUN, 2019).

4.3 Análise dos desafios de implantação do laboratório 4.0

Os conceitos e tecnologias abordados anteriormente neste trabalho são perspectivas promissoras de um desenvolvimento tecnológico atual. Contudo, mesmo com esforços conjuntos de governos, organizações e acadêmicos, e dos casos de sucesso, ainda é necessário percorrer um longo caminho, cheio de desafios, antes que esta revolução digital possa tornar-se uma realidade absoluta (SANTOS *et al.*, 2018). Assim, foram levantados alguns dos principais desafios a partir de algumas publicações com pesquisas nessa linha de raciocínio, as quais melhor se relacionaram com os desafios citados pelos respondentes do questionário sendo elas:

- European Parliament (2016) em seu estudo analisa a Indústria 4.0 considerando o seu potencial e as mudanças que ela causa no paradigma de negócios e os impactos dessa transformação. O estudo traça medidas que podem ser adotadas para aumentar os ganhos e limitar as ameaças da Indústria 4.0, citando alguns dos principais desafios enfrentados pelas empresas que se propõem a aderir aos conceitos e tecnologias da Indústria 4.0. Com isso, os principais desafios apresentados foram: segurança e proteção digital; a padronização das interfaces de comunicação; processos e a organização do trabalho; a disponibilidade de capacidade cognitiva e a inserção das pequenas e média empresas neste cenário.
- Costa *et al.* (2018) investigam quais os principais desafios para implementação de automóveis híbridos na indústria automobilística brasileira 4.0. Baseados na bibliografia especializada do ramo, autores apontam como principais desafios dessa implementação a falta de estratégia industrial, tecnologia e mão de obra especializada. Contudo, ao final da pesquisa, os autores concluem que, além de vencer os desafios citados anteriormente, as empresas desse ramo podem obter sucesso nessa implementação, desde que levem em consideração a necessidade de harmonia na Engenharia de Produção e na Engenharia Sustentável, provendo assim, maior sustentabilidade para as futuras gerações.
- Santos *et al.* (2018) abordam os desafios, oportunidades, competências e habilidades inerentes a inserção das indústrias brasileiras na Indústria 4.0. Os

autores citam que para competir globalmente, a indústria nacional deve aumentar sua produtividade, investir em inovação e educação, em grandes projetos e em iniciativas com participação tanto do governo quanto da iniciativa privada.

Segundo os autores, a indústria nacional se encontra em um estágio inicial de conhecimento sobre o tema e que os principais obstáculos que impendem as empresas brasileiras de conquistarem a Indústria 4.0 são: Falta de domínio sobre os componentes e tecnologias; a carência de mão de obra qualificada; o impacto cultural nas organizações; e a análise dos ambientes da empresa.

Com base nos estudos e nos principais desafios listados pelos autores acima, juntamente com os desafios mais citados pelos respondentes do questionário, foram relacionados 4 deles para uma abordagem um pouco mais aprofundada, sendo eles: segurança e proteção digital; a padronização na comunicação de dados; flexibilização do ambiente de trabalho; e mão de obra capacitada.

4.3.1 Segurança e Proteção Digital

Os riscos relacionados à segurança de dados aumentam na mesma taxa em que o uso de dispositivos “inteligentes” conectados à rede aumenta. Nesse contexto, na Indústria 4.0 onde a comunicação autônoma entre dispositivos é um dos pilares, são necessários procedimentos que garantam um nível de segurança adequado, a fim de diminuir os riscos que essa ferramenta pode estar exposta (EUROPEAN PARLIAMENT, 2016).

Em se tratando de um laboratório de ensaios, esses procedimentos e ações para diminuir os riscos devem ser ainda maiores, pois segundo a ABNT ISO/IEC 17025 (ABNT, 2017) um laboratório deve ser capaz de manter a confidencialidade e confiabilidade dos seus resultados, sem oferecer riscos a propriedade intelectual, dados pessoais e privacidade de seus clientes e colaboradores.

Contudo, a colaboração entre governos, organizações especializadas em TI e indústrias, trabalhando como parceiros na procura de soluções adequadas e na promoção das melhores práticas tem se mostrado bastante eficazes no sentido de garantia da segurança de dados (COSTA *et al.*, 2018).

4.3.2 Padronização na comunicação de dados

Para a interoperabilidade dos sistemas alcançar todo o seu potencial, uma arquitetura de referência que forneça uma descrição técnica de normas e possibilite a comunicação eficaz entre todos os utilizadores e processos, integrando os sistemas e partes interessadas é de suma importância. Um exemplo de padronização eficaz é a introdução da IoT nos sistemas produtivos. Essa ferramenta vem contribuindo para a elevação da quantidade, heterogeneidade e velocidade dos dados gerados no nível de produção (EUROPEAN PARLIAMENT, 2016).

Sem que exista uma abordagem padronizada para analisar, processar e armazenar esses dados e informações, quando estes forem gerados em diferentes fontes seriam incompatíveis entre si e a abordagem da Indústria 4.0 estaria limitada à análise pontual, restringindo a capacidade de escala e obtenção de ganhos de confiabilidade e qualidade de dados (SANTOS *et al.*, 2018).

4.3.3 Flexibilização do ambiente de trabalho

Um ambiente de trabalho 4.0 terá de atender exigências que diz respeito a organização e flexibilidade. Para isso, o ambiente de trabalho deverá ser flexível e adaptável aos diferentes tipos de processos em que serão expostos (EUROPEAN PARLIAMENT, 2016). Essa preocupação também apareceu como resposta no questionário, sendo relacionada a capacidade de deixar o ambiente de ensaios do laboratório flexível à ponto que se possa realizar os diversos ensaios e atender os diversos produtos, sem perder a qualidade, confiabilidade e segurança, visando a manutenção da sua acreditação.

Como forma de alternativa para auxiliar este processo Ungeheuer (2015) cita que as empresas devem reconhecer a importância estratégica dos trabalhadores na flexibilização dos trabalhos. O autor complementa que as empresas devem incentivar a criatividade e habilidades dos trabalhadores, aproveitando os pontos fortes de cada um, sendo esta uma das características que os colaboradores que atuais deverão desenvolver, e os egressos deverão possuir ao sair da faculdade.

4.3.4 Mão de obra capacitada

Um dos maiores desafios enfrentados pela Indústria 4.0 está relacionado com a mão de obra. Os novos cenários terão influências significativas na natureza do trabalho, uma vez que transformarão a concepção, a fabricação, a operação dos produtos e serviços nos sistemas de produção. Essas transformações são resultado

do aparecimento de sofisticados sistemas tecnológicos que exigirão trabalhadores com habilidades cada vez mais específicas (BCG, 2015).

Vale ressaltar que tornar a cultura da empresa digital faz parte deste processo, já que existe a necessidade de adaptação neste novo ambiente da Indústria 4.0. Isso significa que as empresas empenhadas a se alinhar com a Indústria 4.0 terão que investir em programas de desenvolvimento profissional e de formação contínua. Estes investimentos devem ser voltados a capacitação dos colaboradores não só para lidar com as novas ferramentas e tecnologias, mas também na captura e reutilização sistemática dos seus conhecimentos de forma a mantê-los efetivos (CORDEIRO *et al.*, 2017).

4.4 Estratégias de implantação do laboratório 4.0

Diante do panorama apresentado sobre a Indústria 4.0 e suas principais tecnologias no ambiente de um laboratório de ensaios, bem como da percepção dos profissionais que atuam nessa área em questão a respeito dessas novas abordagens, neste tópico propõem-se etapas de implantação que estimule e guie a introdução dos aspectos da Indústria 4.0 em benefício do laboratório.

As etapas propostas foram baseadas nos estudos que apresentaram conceitos e abordagens que se alinham com as características de um laboratório de ensaios, seu sistema de gerenciamento e instalações. Sendo eles os apresentados por Cordeiro *et al.* (2017), IEDI (2018), ABDI (2017), Lichtblau *et al.* (2015) e ACATECH (2013).

Cordeiro *et al.* (2017) apresentaram durante o XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção uma abordagem estratégica de implantação da arquitetura da Indústria 4.0 no cenário nacional, contextualizando com alguns dos conceitos centrais do contexto da Indústria 4.0 através de uma pesquisa exploratória com abordagem do contexto da Indústria 4.0 embasada basicamente na revisão da literatura. Com isso, os autores puderam propor ao final da um fluxo de atividades necessárias para a implantação do conceito de Indústria 4.0

O Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial (IEDI), desde meados de 2017, divulga estudos sobre as iniciativas internacionais em apoio à Indústria 4.0. Na publicação utilizada neste trabalho, IEDI apresenta síntese de como oito dos dez países com maior participação na indústria mundial estão abordando o assunto Indústria 4.0 em seu mercado, através do trabalho preparado pela Doutora em

Economia, Cristina Penido de Freitas, dos oito países abordados, seis são economias desenvolvidas (Alemanha, Estados Unidos, Coreia do Sul, Japão, França e Reino Unido) e duas emergentes (China e Índia) (IEDI, 2018).

Visando atingir o objetivo de inserir a indústria brasileira no ambiente da Indústria 4.0, a ABDI apresenta como o governo brasileiro está se preparando para isso. Através da Agenda brasileira para a Indústria 4.0, formada com auxílio do GTI, o portal utilizado como base neste trabalho apresenta as principais etapas para alcançar o êxito nesse processo. Estratégias empresariais e políticas públicas precisam andar lado a lado, e para isso a Agenda Brasileira para a Indústria 4.0 apresenta medidas para auxiliar nesta trajetória rumo à transformação digital (ABDI, 2017).

O modelo de auto avaliação de Lichtblau *et al.* (2015) relaciona as principais áreas da indústria para a transformação digital, e engloba quatro dimensões: i) fábrica inteligente, ii) operações inteligentes, iii) produtos inteligentes e, iv) serviços orientados por dados. Além do estudo “*Industry 4.0 Readiness*” elaborado por Lichtblau *et al.* (2015), a fundação IMPULS da Federação Alemã de Engenharia (VDMA) em parceria com empresas de consultoria e universidades alemãs, lançaram um sistema de auto avaliação online, ondem ao final da autoavaliação, é gerado um relatório dos pontos fortes e fracos da empresa que está se auto avaliando, citando alguma medidas que podem auxiliar na melhoria em direção a Indústria 4.0.

ACATECH (2013) em sua publicação intitulada *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0* apresentada detalhadamente os benefícios alcançáveis através das ferramentas e tecnologias da quarta revolução industrial. Essa publicação é tida como o marco inicial da Indústria 4.0 e conta com mais de 20 membros no grupo de trabalho, que auxiliaram o governo alemão na realização e estruturação da publicação. Em seu texto os autores apresentam exemplos rápidos de aplicação, contextualizando as necessidades de melhoria citadas no decorrer do guia, para sistemas genéricos. Dessa forma, o deixa aplicável em diversos cenários.

Com base na literatura utilizada, indica-se a aplicação das etapas a seguir em projetos direcionados, de menor porte, que englobem alguma etapa ou atividade específica do laboratório, por exemplo um ensaio de tipo ou de rotina. Isto porque, a complexidade imposta por um projeto de mudança em um sistema de grande porte e já em funcionamento, como no caso de um laboratório, dificulta consideravelmente o sucesso da implantação. Dessa forma, trabalhando em pequenos projetos

direcionados, o processo de mudança e adaptação ocorre de maneira controlada e com riscos menores, facilitando a escalabilidade das adequações.

Dessa forma, a seguir são descritas seis principais etapas para orientar o laboratório a atingir o objetivo de se inserir no ambiente da Indústria 4.0, são elas: Auto avaliação; Difusão e levantamento de conteúdo; Estruturação; Projetos pilotos; Qualificação; e Integração.

4.4.1 Autoavaliação

Como primeira etapa, o laboratório deve realizar uma autoavaliação. Nesse processo, o laboratório deve analisar o seu nível de maturidade no assunto ou processo que deseja efetuar a melhorias, bem como quais objetivos deseja alcançar com tal melhoria.

Esta autoavaliação dever ser feita direcionada a alguma etapa ou atividade específica, para facilitar a aplicação futura. Para auxiliar este processo de autoavaliação, um modelo de avaliação da maturidade é proposto no apêndice 2. No modelo de avaliação proposto, o grupo que está se auto avaliando deve responder as questões com notas de 0 a 4, seguindo os seguintes critérios:

- Nota 4 – Totalmente
- Nota 3 - Na grande maioria
- Nota 2 - Cerca de 50% dos casos
- Nota 1 - Ocasionalmente
- Nota 0 - Em nenhum dos casos

Após esta análise e pontuar cada uma das questões, deve-se pontuar o item avaliado através do cálculo de média simples com as notas de cada questão. Com a pontuação do item, deve-se categoriza-lo em relação a implementação da Indústria 4.0 em:

- Pontuação 4 - Especialista
- Pontuação 3 - Experiente
- Pontuação 2 - Intermediário
- Pontuação 1 - Iniciante
- Pontuação 0 - *Outsider*

A média deve servir de guia direcional para elencar os pontos fortes e fracos do projeto a ser implantado. Serve também para indicar as prioridades para a execução do projeto, e para quais processos as demais etapas da estratégia proposta podem ser direcionada.

4.4.2 Difusão e levantamento de conteúdo

Para ampliar o acesso a essas novas possibilidades, uma série de ações de comunicação permanente para os colaboradores através de seminários, materiais áudio visuais e *workshops* deve ser realizada, para disseminação dos conceitos e aplicações-piloto.

Essas ações podem ser realizadas através de instituições parceiras e conforme demanda identificada através da auto avaliação. Exemplos de aplicações similares em cenários análogos podem ser expostos, assim como ocorreu em outros países, podendo ser direcionadas a uma atividade em específico ou em âmbito geral do laboratório.

Grupos de estudo podem ser elaborados para facilitar o levantamento de ideias e conteúdo, sendo realizados atas e reuniões continuamente para maior levantamento de materiais inerentes ao assunto.

4.4.3 Estruturação

Com o intuito de captar ao máximo os benefícios da Indústria 4.0 é necessário tornar o sistema o mais digital possível, em outras palavras, evoluir para o nível de maturidade de “Especialista”, mostrado no item 4.4.1. Para que isso ocorra deve-se focar na especialização em análise e coleta de dados, envolvendo desde a estruturação de sistemas que possibilitem combinação de diferentes dados, até o treinamento da equipe envolvida para desenvolvimento de habilidades.

Em todas as iniciativas nos países analisados IEDI (2018), observou-se uma ênfase nas parcerias entre empresas industriais, academia e governo para acelerar a inovação tecnológica. As parcerias incluem não apenas grandes corporações, como também pequenas e médias empresas e *startups* de base tecnológica.

Pensando nisso, a ABDI está inserindo um ambiente de conexão entre *startups* e indústrias com a finalidade de promover o desenvolvimento tecnológico de soluções a partir de demandas industriais, através da disseminação de processos que promovam a mudança cultural necessária para a inserção dos conceitos de Indústria

4.0 no Brasil (ABDI, 2017).

Para facilitar esse processo, podem ser estabelecidas parcerias, com outras empresas ou setores utilizadores de seus serviços, que estejam dispostas a compartilhar dados, experiências e informações, a fim de fomentar novas formas de gestão de desenvolvimento tecnológico. Em situações em que a cooperação não seja possível, pode-se pensar em alternativas como fusões/aquisições.

Como parte desse processo de estruturação e integração, Cordeiro *et al.* (2017) cita o desenvolvimento e execução de projetos pilotos. Estes projetos podem ocorrer, inclusive, em paralelo com a estruturação, com projetos que auxiliem nesse processo.

4.4.4 Projetos pilotos

Com a auto avaliação realizada e sendo feito a difusão de conteúdo, dá-se início ao desenvolvimento e execução de projetos pilotos. Nesta etapa, recomenda-se a utilização de padrões de gerenciamento de projetos, como por exemplo o *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK®) que consiste em uma padronização que identifica e conceitua processos, áreas de conhecimento, ferramentas e técnicas da gestão de projetos.

O gerenciamento de projetos auxilia em todo o processo do projeto, principalmente no monitoramento e controle de todos os recursos e riscos envolvidos. Em se tratando de projetos pilotos da Indústria 4.0, por envolverem diretamente inovações tecnológicas, o conhecimento gerado e adquirido através desse processo é valioso, devido a isso, é preciso divulgar e armazenar as informações e experiências adquiridas.

O caminho para inovar e desenvolver novas tecnologias é cheio de incerteza e risco, requer capacitação e preparação para que seja possível a absorção das tecnologias de forma adequada. Assim, torna-se fundamental que as empresas possam testar, experimentar e desenvolver protótipos de processos de implantação dessas tecnologias (ABDI, 2017). Para facilitar esse processo, pode-se utilizar de parcerias com outras empresas ou setores utilizadores de seus serviços, *startups* e universidades. Avaliar possibilidades de incentivos governamentais, bem como banco de possíveis parceiros cadastrados ao MDIC.

4.4.5 Qualificação

Para os engenheiros egressos nos últimos anos, pôde-se perceber através da análise feita no item 3, que já existem projetos para uma nova formação, pautada nessas novas exigências da Indústria 4.0. Porém, existe a necessidade de treinamento dos profissionais que atualmente trabalham na indústria e necessitam de treinamento orientado a Indústria 4.0 e seus conceitos e tecnologias.

Para que isso seja possível, deve existir o que ACATECH (2013) chamou de *continuing professional development*, ou desenvolvimento profissional contínuo, em tradução livre. Esse tipo de treinamento possibilita a abordagem desses assuntos com os colaboradores dentro dos domínios do ambiente de trabalho. Objetivando sua eficácia, essa abordagem deve levar em consideração as diferentes funções desempenhadas pelos funcionários e suas qualificações profissionais e qualificações acadêmicas, como bacharelado, mestrado e doutorado.

Para auxiliar nessa etapa, recomenda-se as seguintes ações em relação às qualificações, treinamento e desenvolvimento profissional contínuo no contexto da Indústria 4.0:

I. Promoção de projetos didáticos

Os projetos devem incorporar ações para desenvolver estratégias de treinamento e desenvolvimento profissional dos colaboradores. Estes devem incluir atividades que busquem interação entre os colaboradores com formação profissional e acadêmica diferentes. Deve-se fornecer treinamento e cursos e sistemas de desenvolvimento profissional. Esses projetos podem servir para reconhecer habilidades adicionais que os funcionários possuem fora de sua área específica de atuação.

II. Histórico de capacidades necessárias

A fim de garantir a transferência de conhecimento e sustentabilidade, deve-se realizar o histórico de capacitações necessárias. Isso pode ser embasado em projetos não sucedidos ou malsucedidos e estudos de caso documentados.

III. Apresentação de novas abordagens para a aquisição de conhecimentos e habilidades no local de trabalho

Deve ser investido em desenvolvimento de técnicas de aprendizagem digital, através de mídia digital e tecnologias de aprendizagem inovadoras. Tendo em vista as mudanças tecnológicas e o fato de que diferentes alunos têm requisitos diferentes, se

faz necessário o desenvolvimento de novos métodos de ensino e aprendizagem.

IV. Formação de parcerias

Todas as medidas de qualificação e treinamento poderão ser feitas através de parcerias para auxiliar na pesquisa e implementação.

4.4.6 Integração

Após o aprimoramento da digitalização do sistema, é necessário que este processo se comunique com as demais etapas. Primeiramente, indica-se aprimorar a integração vertical, desde a entrada de contrato até a liberação de relatórios e comunicação com o cliente, ou o mais integrado possível, começando pela própria atividade envolvida, a qual deseja-se adequar. Posteriormente, quando o laboratório como um todo estiver no nível de maturidade de especialista, mostrado no item 4.4.1, propõem-se a ampliação para a integração horizontal. Essa integração ajudará na escalabilidade do processo de digitalização, agregando valor aos serviços oferecidos e garantindo a sustentabilidade do processo.

Para garantir a integração vertical, a integração digital de ponta a ponta dos sinais de atuadores, sensores e sistemas de monitoramento é essencial. Outra necessidade são estratégias de modularização das atividades e reutilização de *setups*, isso permitirá a reconfiguração da atividade que demande uma montagem ou alteração, como por exemplo a montagem de ensaio. Além disso, os colaboradores deverão ser treinados para entender o impacto dessas abordagens no funcionamento e operação do sistema.

4.5 Análise dos benefícios de implantação do laboratório 4.0

Em se tratando de inovações tecnológicas, os seus principais benefícios estão sempre relacionados a redução de custos e o aumento da eficiência. Porém, a Indústria 4.0 não traz apenas inovações tecnológicas, traz um conceito novo de indústria, de processos e de cultura organizacional (SANTOS *et al.*, 2018). Os impactos da Indústria 4.0 atingem principalmente a produtividade, a redução de custos, o controle sobre o processo produtivo, a customização da produção, dentre outros, apontam para uma transformação profunda nas plantas fabris (SANTOS *et al.*, 2018). Segundo a ABDI (2017), a estimativa anual de redução de custos industriais no Brasil, com a indústria se adequando para o conceito 4.0, será de, no mínimo,

R\$ 73 bilhões/ano.

Nesse sentido, pode-se estabelecer alguns benefícios da Indústria 4.0 através dos estudos de Santos *et al.* (2018), ACATECH (2013) e BCG (2015), que podem ser relacionados com os benefícios citados pelos respondentes do questionário e, dessa forma, relacionados especificamente ao laboratório de ensaios. Sendo eles:

- Produtividade e gestão de recursos: uma rede de máquinas e sensores, associados a sistemas produtivos e gerenciais otimizados contribui para otimização da utilização de recursos e aumento da produtividade;
- Melhora na comunicação entre contratante e contratado: a Indústria 4.0 aumenta a eficiência da comunicação através de uma abordagem na qual os clientes podem escolher as características específicas dos ensaios para atender às suas necessidades;
- Empregabilidade: espera-se um aumento na quantidade de empregos, porém, com exigências de diferentes competências e que algumas atividades poderão ser substituídas por máquinas, enquanto engenheiros eletricitas, de software e especialistas em TI estarão com maior procura;
- Investimentos e incentivos: com o intuito de aprimorar os processos industriais através da Indústria 4.0, investimentos e incentivos governamentais serão realizados, surgindo oportunidades e facilitações na aplicação de projetos de digitalização e otimização de processos;
- Aumento da confiabilidade: introdução da revolução trazida pelas tecnologias de informação e comunicação para as atividades laboratoriais, inclusive em momentos de auditorias. Com pouca intervenção humana e a realização das atividades sendo monitoradas constantemente, existe a redução da possibilidade de erros de leituras, perda de dados e possíveis fraudes;
- Maior agilidade e flexibilidade: Com o laboratório mais digital, os conceitos da Indústria 4.0 tornam as atividades laboratoriais mais eficientes, flexíveis, ágeis e aptas para o ambiente de ensaios que exige uma rápida e fácil mudança de layout, montagens e organização;
- Diminuição de custos e riscos: Inovações como *Big Data* e computação na nuvem, permitem a realização de simulações em tempo real. Os benefícios de implantações com essa abordagem incluem economia de tempo, custos e a capacidade de minimizar os riscos durante a execução de ensaios.

De maneira geral, para o potencial da Indústria 4.0 ser aproveitado ao máximo, todas as oportunidades de melhoria devem ser aproveitadas para que, dessa forma, seja possível beneficiar os seus clientes com produtos e serviços adequados, os seus colaboradores através de incentivos e com valorização do talento, a comunidade e a sociedade com novas tecnologias e o impacto social por elas causado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

Em relação a Indústria 4.0, percebeu-se por meio das pesquisas bibliográficas, que podem ser encontrados vários conceitos e tecnologias vinculados ao termo 4.0. Sendo que, alguns deles, já bastante difundidos entre diversas áreas, principalmente os mais solidificados, como é o caso de *Big Data*, Simulações, Manufatura Aditiva, Internet das Coisas, Computação na nuvem e Inteligência Artificial.

Além disso, percebeu-se que existem várias publicações, inclusive de órgãos e departamentos governamentais de tecnologia e desenvolvimento, demonstrando e auxiliando na aplicação das ferramentas e tecnologias da quarta revolução industrial nos mais diversos ambientes da indústria. Contudo, o número de publicações a respeito de aplicações dessas ferramentas e tecnologias em um ambiente de laboratório de ensaios é bastante reduzido, não sendo encontrado nos bancos de dados utilizados na revisão de literatura.

Porém, os fatores apresentados a respeito dos benefícios claros e diversos da Indústria 4.0, evidencia que a sua aplicação se faz necessária frente às necessidades atuais do mercado, principalmente em etapas chave do processo de produção de produtos, como é o caso do laboratório de ensaios, que necessita estar atualizado para manter a confiabilidade, qualidade e credibilidade dos resultados e serviços prestados e, assim, não ficar obsoleto na cadeia de valor da produção

Ainda a respeito dos laboratórios de ensaios, conclui-se que se trata de uma das principais etapas de produção de produtos, possuindo importante função dentro das empresas. Foi evidenciado também, que os laboratórios, principalmente os acreditados, necessitam de um sistema organizacional bem estruturado devido à complexidade de suas atividades, processos e avaliações pelas quais precisa passar a fim de manter a sua acreditação e confiabilidade.

No âmbito da adequação para a Indústria 4.0, percebeu-se que as principais potências mundiais estão se movendo nessa direção, enfrentando diversos desafios, como: a segurança digital, padronização na comunicação de dados, flexibilização e mão de obra capacitada. Ainda nessa linha de raciocínio, pode-se concluir que o sucesso da adequação do sistema de um laboratório depende da maneira como estes desafios são enfrentados, devendo ser de maneira estruturada e controlada, sendo

essa combinação a sustentação para a eficiência almejada. Com isso foi proposta uma estratégia de implantação dos conceitos da Indústria 4.0 e suas ferramentas que se encaixa nos processos indicados na literatura utilizada.

Sobre a mão de obra qualificada, evidenciou-se a necessidade de um processo de adequação da grade curricular das universidades em cursos de engenharia com as novas exigências do mercado. Concluiu-se que há a necessidade de formar profissionais alinhados com Indústria 4.0 e suas exigências de integração, ao invés de uma formação com matérias individualizadas e sem interligação. Explicitou-se exemplos de programas governamentais para auxiliar nessa mudança, bem como exemplos reais desse processo sendo realizado através de matérias que tenham como objetivo criar projetos que integrem disciplinas e assuntos estudados pelos alunos em outras fases do curso.

A respeito da visão dos profissionais, percebeu-se que os que já atuam na área de ensaios possuem um bom conhecimento sobre a Indústria 4.0 e suas ferramentas, tendo conhecimento de seus benefícios e acima de tudo de seus impactos no ambiente de trabalho e da quebra de paradigmas que terão que enfrentar para que consigam se manter alinhados a estas tecnologias.

5.2 Sugestão para trabalhos futuros

Devido à pouca literatura específica sobre a implantação de ferramentas da indústria 4.0 em laboratórios de ensaio industriais, esse trabalho limitou-se a servir como um estudo inicial sobre a possibilidade de implantação dessas ferramentas, chegando a propor meios para que sejam implementadas essas ferramentas nesses ambientes. Assim, para trabalhos futuros, sugere-se um estudo de caso sobre a implantação de um sistema baseado nos conceitos da Indústria 4.0, em uma organização que deseje migrar para o laboratório 4.0. Assim será possível validar na prática, a estratégia proposta, verificar os benefícios gerados e desafios enfrentados com essa implementação, obtendo dados sobre o parecer dos profissionais envolvidos antes e depois da implantação, bem como melhorar ainda mais a proposta durante esse processo.

REFERÊNCIAS

ABNT. **Normalização**. Elaborado por Associação Brasileira de Normas Técnicas. Disponível em: <http://www.abnt.org.br/normalizacao/o-que-e/o-que-e>. Acesso em: 21 jun. 2020.

ABDI (Brasil). **Agenda brasileira para a Indústria 4.0**: O Brasil preparado para os desafios do futuro. [S. l.], 2017. Disponível em: <http://www.industria40.gov.br/>. Acesso em: 10 dez. 2020.

ABNT. **ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração**. Rio de Janeiro. 2017.

ACATECH. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. **National Academy of Science and Engineering**, 2013. Disponível em: <<http://www.acatech.de/de/publikationen/stellungnahmen/kooperationen/detail/artikel/recommendations-for-implementing-the-strategic-initiative-industrie-40-final-report-of-the-industr.html>>. Acesso em: 08 mar. 2020.

ALBERTIN, Marcos Ronaldo et al. **Principais inovações tecnológicas da indústria 4.0 e suas aplicações e implicações na manufatura**. XXIV Simpósio De Engenharia De Produção. Bauru, p. 1-22. 8 nov. 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Dmontier_Jr/publication/321682376_PRINCIPAIS_INOVACOES_TECNOLOGICAS_DA_INDUSTRIA_40_E_SUAS_APLICACOES_E_IMPLICACOES_NA_MANUFATURA.pdf. Acesso em: 01 mar. 2020.

APCER - **Guia do Utilizador ISO 9001:2015**. Disponível em: <<https://www.apcergroup.com/pt/guias-e-publicacoes>> Acesso em: 5 jun. 2020.

ASSAD NETO, Anis *et al.* A busca de uma identidade para a indústria 4.0. **XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Joinville. out. 2017. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/6852/material/0%20-%20Ind%C3%BAstria%204.0.pdf>. Acesso em: 20 maio 2020.

AZEVEDO, Marcelo Teixeira de. **Transformação Digital na Indústria**: Indústria 4.0 e a rede de água inteligente no Brasil. Orientador: Prof. Dr. Sergio Takeo Kofuji. 2017. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3142/tde-28062017-110639/publico/MarceloTeixeiradeAzevedoCorr17.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2020.

BASTOS, Newton. SIMP - Sistema Integrado de Metrologia Produtiva e os Pilares Técnicos da Metrologia 4.0. **Controle e instrumentação**, [S. l.], ano 21, n. 240, p. 46 - 47, 18 mar. 2018.

BCG. **Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries**. Disponível em: <https://www.bcg.com/pt-br/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries>. Acesso em: 25 jun. 2020.

BORGES, Davi de Souza; et. al. **A Importância da Pesquisa e Desenvolvimento na Economia de Uma Organização**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Edição 05. Ano 02, Vol. 01. pp 366-377, Julho de 2017. ISSN:2448-0959. Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/administracao/a-importancia-da-pesquisa-e-desenvolvimento-na-economia-de-uma-organizacao>>. Acesso em: 08 mar. 2020.

BOHUN, Mark. Accreditation 4.0: Adapting to a new revolution. **Quality World**, [s. l.], 26 jun. 2019. Disponível em: <https://www.quality.org/knowledge/accreditation-40-adapting-new-revolution>. Acesso em: 20 jan. 2021.

CEPE. **Alteração do projeto pedagógico de curso**. 2018. Disponível em: <https://sigaa.ifsc.edu.br/sigaa/public/curso/documentos.jsf?lc=pt_BR&id=2399014&idTipo=2>. Acesso em 23 dez. 2020.

CHOU, Pao-Nan *et al.* Using a Tablet Computer Application to Advance High School Students' Laboratory Learning Experiences: A Focus on Electrical Engineering Education. **Sustainability**, [s. l.], v. 11, n. 381, 13 jan. 2019. DOI 10.3390/su11020381. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su11020381>. Acesso em: 1 dez. 2020.

COOPER, R. G. Stage gates a new tool for managing new products. **Business Horizons**, v. 33, n. 3, p. 44-45, 1990. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.474.1777&rep=rep1&type=pdf>. Acessado em: 25 jun. 2020.

CORDEIRO, Gabrielly Araujo *et al.* Etapas para implantação da indústria 4.0: uma visão sob aspectos estratégicos e operacionais. **XXXVII Encontro Nacional De Engenharia De Produção**, Joinville, 13 out. 2017. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_244_413_33991.pdf. Acesso em: 3 jan. 2021.

COSTA, Indianara Mikaele da et al. **Automóveis híbridos na indústria 4.0 e no brasil**. 2018. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/1012/o/99._AUTOMÓVEIS_HÍBRIDOS_NA_INDÚSTRIA_4.0_E_NO_BRASIL.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2020.

COSKUN, Selim *et al.* Adapting Engineering Education to Industry 4.0 Vision. **Technologies**, [s. l.], 10 jan. 2019. DOI 10.3390/technologies7010010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/330281868_Adapting_Engineering_Education_to_Industry_40_Vision>. Acesso em: 23 nov. 2020.

DONATELLI, Gustavo Daniel. **Laboratório 4.0**: Evolução do laboratório metrológico no Contexto da 4ª Revolução Industrial. 2018. Slides.

EUROPEAN PARLIAMENT. **Industry 4.0**. União Europeia, 2016. Disponível em: <[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/570007/IPOL_STU\(2016\)570007_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/570007/IPOL_STU(2016)570007_EN.pdf)>. Acesso em: 20 jan. 2021

FILGUEIRAS, Lucas Vinícios Oliveira et al. Perfil do engenheiro eletricista - impactos da formação acadêmica na atuação profissional. COBENGE: Formação por

competência na engenharia no contexto da globalização 4.0, Fortaleza.p. 1-10, 2019. Disponível em: <http://www.abenge.org.br/sis_submetidos.php?acao=abrir&evento=COBENGE19&codigo=COBENGE19_00082_00002537.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2020.

FRANCHI, Taís Guidolin *et al.* Levantamento de requisitos de software para gestão de laboratórios de calibração e ensaios baseado na ABNT ISO/IEC 17025. **Iberoamerican Journal Of Industrial Engineering**. Florianópolis, p. 71-83. jan. 2018.

GALLAGHER, Sean. **Industry 4.0 Testlabs in Australia: preparing for the future**. Hawthorn: Swinburne Research, 2017. Disponível em: https://www.industry.gov.au/sites/default/files/July%202018/document/pdf/industry-4.0-testlabs-report.pdf?acsf_files_redirect. Acesso em: 21 out. 2020.

GROCHAU, Inês Hexsel. **Implementação de Sistema de Gestão da Qualidade em Laboratório de Ensaio de Instituição de Ensino e Pesquisa**. Orientador: Carla Schwengber ten Caten, Dra. 2011. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/37389>. Acesso em: 27 jun. 2020.

GTAI. **Industrie 4.0 - SMART MANUFACTURING FOR THE FUTURE. Germany Trade & Invest**, p. 21, 2014. Disponível em: <<https://www.manufacturing-policy.eng.cam.ac.uk/policies-documents-folder/germany-industrie-4-0-smart-manufacturing-for-the-future-gtai/view>>. Acesso em: 22 abr. 2020.

ILAC (org.). **Acreditação: Facilitando o comércio no mundo**. [S. l.: s. n.], 2018. Disponível em: <https://ilac.org/publications-and-resources/ilac-promotional-brochures/>. Acesso em: 1 set. 2020.

INMETRO – **Avaliação da Conformidade, 6ª edição**, 2007. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/infotec/publicacoes/acpq.pdf>>. Acesso em: 27 jun. 2020.

IEDI (Brasil). **ESTRATÉGIAS NACIONAIS PARA A INDÚSTRIA 4.0**. [S. l.: s. n.], 2018. 22 p. Disponível em: https://iedi.org.br/media/site/artigos/20180705-estrategias_nacionais_para_a_industria_4_0.pdf. Acesso em: 3 jan. 2021.

LABVOLUTION. **Laboratory 4.0: Who needs it, and to what extent?** 2017. Disponível em: https://www.labvolution.de/en/news/article/news-details_3712.xhtml#top. Acesso em: 20 nov. 2020.

LEE, Jay *et al.* A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing Letters**, [S.L], v. 3, p. 18-23, dez. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>. Acesso em: 25 jun. 2020.

LICHTBLAU, Karl *et al.* **Industrie 4.0-Readiness Online Self-Check for Businesses**. IMPULS - Industrie 4.0 Readiness. Aachen, Cologne: VDMA's IMPULS-Foundation. 2015. Disponível em: <https://www.industrie40-readiness.de/?lang=en>. Acesso em: 10

jan. 2021.

MACIEJEWSK, Anthony A. *et al.* A Holistic Approach to Transforming Undergraduate Electrical Engineering Education. **IEEE Access**, [s. l.], v. 5, p. 8148-8161, 31 jan. 2019. DOI 10.1109/ACCESS.2017.2690221. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7891011>. Acesso em: 28 nov. 2020.

MEC. **Referenciais nacionais dos cursos de engenharia**, Distrito Federal, Brasil, 2019. p. 1–2. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/referenciais.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2020.

MENDOZA, Ricardo A Ramirez *et al.* Engineering Education 4.0. **IEEE Global Engineering Education Conference**, Santa Cruz de Tenerife, p. 1273 - 1282, 2018. 2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON). Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8363376&casa_token=LkOin5ULBIAAAAAA:BoHq2FwAO7nLh4MWrSGzeyzvKUFtV5TGPgit5AF1D_57L9e7yf0DZ3qgIR6D3-q2g0uC9Fbgk3Lzw&tag=1. Acesso em: 15

OEM UPDATE. Industry 4.0: The impact on electrical and automation engineering. **OEM Update**, [s. l.], 16 set. 2019. Disponível em: <https://www.oemupdate.com/brand-report/industry-4-0-the-impact-on-electrical-and-automation-engineering/>. Acesso em: 20 nov. 2020.

OLIVEIRA, Marcos Aurélio Lima de. Experiência, inovação e tecnologia para atender o mercado e desenvolver o País. **Na medida**, [S. l.], n. 11, mar. 2018. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/imprensa/namedida/2018/edicao011-editorial-Marcos-Aurelio.asp>. Acesso em: 20 jan. 2021.

OTOSCK, Kelly Regina. Educação tecnológica: Interdisciplinaridade nos cursos de engenharia. *In*: COTOSCK, Kelly Regina. **Proteção de sistemas elétricos**: uma abordagem técnico-pedagógica. Orientador: Prof. Clever Sebastião Pereira Filho. 2007. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-8CZLET/1/kelly_regina_cotosckf.pdf. Acesso em: 1 dez. 2020.

OZDEMIR, Sena *et al.* The role of horizontal and vertical new product alliances in responsive and proactive market orientations and performance of industrial manufacturing firms. **Industrial Marketing Management**. Nc, p. 25-35. jul. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2017.03.006>. Acesso em: 20 abr. 2020.

PAULA, Taynara Incerti. **Proposta de um modelo conceitual para implementação do Sistema de Qualidade ISO 9001 em laboratórios de ensaio com reconhecimento em BPL**. Orientador: Marco Antônio Carvalho Pereira, Dr. 2012. Monografia (Graduação) - Universidade De São Paulo, Lorena, 2012. Disponível em: <https://sistemas.eel.usp.br/bibliotecas/monografias/2012/MEQ12047.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2020.

PIZZOLATO, Morgana *et al.* A influência do sistema de gestão de laboratórios nos resultados dos ensaios de proficiência da construção civil. **Gestão & Produção**, [S.L.], v. 15, n. 3, p. 579-589, dez. 2008. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-530x2008000300012>. Acesso em: 20 maio 2020.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. Disponível em: <http://www.feevale.br/Comum/midias/8807f05a-14d0-4d5b-b1ad-1538f3aef538/E-book%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2020.

QUALIDADE, Gestão de. **ISO 9001**. Disponível em: <https://gestao-de-qualidade.info/iso-9001.html>. Acesso em: 21 maio 2020.

ROURE, Marcel. Engenharia Elétrica: Como Aproveitar as Melhores Oportunidades Profissionais da Indústria 4.0. *In*: ROURE, Marcel. **Engenharia Elétrica: Como Aproveitar as Melhores Oportunidades Profissionais da Indústria 4.0**. [S. l.], 2016. Disponível em: <https://instrumentacaoecontrole.com.br/engenharia-eletrica-como-aproveitar-as-melhores-oportunidades-profissionais-da-industria-4-0/>. Acesso em: 30 nov. 2020.

ROZENFELD, Henrique *et al.* **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006. Disponível em: http://www.pdp.org.br/Arquivos/livro_GDP_pag_iniciais.pdf. Acesso em: 05 maio 2020.

SANTOS, Kássio *et al.* Opportunities Assessment of Product Development Process in Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.265>. Acesso em: 21 março 2020.

SANTOS, Beatrice Paiva *et al.* **Indústria 4.0: desafios e oportunidades**. Revista Produção e Desenvolvimento, Rio de Janeiro, v. 4, n. 1, p.111-124, 15 jan. 2018. Disponível em: <https://revistas.cefet-rj.br/index.php/producaoedesenvolvimento/article/view/e316/193>. Acesso em: 01 março 2020.

SANTOS, L. L.; MAINIER, F. B. **A evolução dos sistemas de gestão da qualidade em laboratórios de ensaio e calibração e a sua importância para as relações comerciais**. Niterói: 2010.

SCHNEIDER, Gregori. **O uso das ferramentas da indústria 4.0 no desempenho do processo de desenvolvimento de produtos: indústria de elétrico eletrônicos no Paraná**. 2019. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019. Disponível em: <https://www.prrpg.ufpr.br/siga/visitante/trabalhoConclusaoWS?idpessoal=58300&idprograma=40001016070P1&anobase=2019&idtc=5>. Acessado em: 20 março 2020.

SOUZA, D. DE; SÁ, D. DE. A Importância da Pesquisa e Desenvolvimento na Economia de Uma Organização. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do**

Conhecimento, 2017.

UNGEHEUER, Udo. Indústria 4.0: A era da produção inteligente. *In*: VDI (Brasil) (org.). **Em foco O Engenheiro**. [S. l.: s. n.], 2015. p. 38-41. Disponível em: <https://www.vdibrasil.com/wp-content/uploads/revista-vdi-06-10-2015.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2020.

VDI - Brasil. A formação e capacitação do Engenheiro para os tempos atuais. **Engenharia Brasil-Alemanha**, [s. l.], ed. 6, p. 6 - 16, 2017. Disponível em: <http://www.vdibrasil.com/wp-content/uploads/Revista-Engenharia-Brasil-Alemanha-2017.pdf>. Acesso em: 1 dez. 2020.

VDI - Brasil. O aluno do agora. **Engenharia 4.0 na transformação digital**: formação e transformação do engenheiro 4.0, São Manuel, ed. 5, p. 38 - 42, 2016. Disponível em: <http://www.vdibrasil.com/wp-content/uploads/revista-dia-da-engenharia-2016.pdf>. Acesso em: 1 dez. 2020.

VICENTE, Rayres Helena; LOPES, Paloma de Lavor. A importância de investimentos em inovação tecnológica como fator chave para o desenvolvimento econômico. *In*: Simpósio De Excelência Em Gestão E Tecnologia, 12., 2015, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2015. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/28822366.pdf>. Acesso em: 6 ago. 2020.

YIN, Y.; STECKE, K. E.; LI, D. The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. **International Journal of Production Research**, 2018. Taylor & Francis. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00207543.2017.1403664?needAccess=true>. Acesso em: 08 mar. 2020.

APÊNDICE 1

Questionário

Informações do entrevistado

Nesta seção são feitas algumas perguntas de identificação do entrevistado, por gentileza responda as perguntas a seguir.

1. Qual cargo você ocupa na empresa?

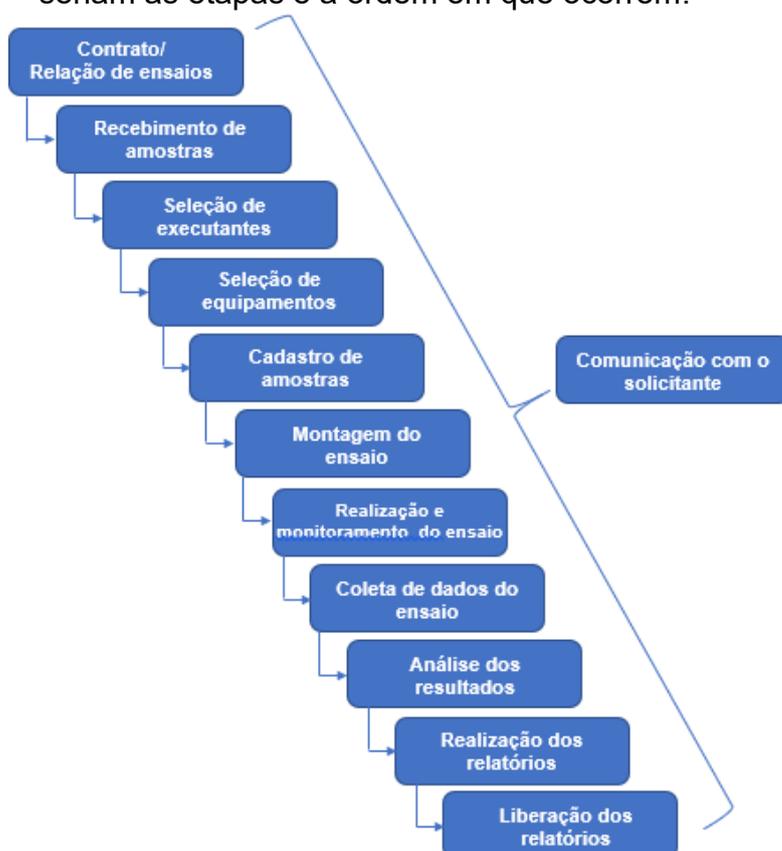
2. Há tempo ocupa este cargo?

3. Qual sua formação acadêmica?

A Indústria 4.0 e as atividades de um laboratório de ensaios

Nesta seção é realizado um questionário sobre a relação entre Indústria 4.0 e o laboratório de ensaios. Sua opinião sincera é fundamental para a pesquisa. Dessa forma, por gentileza responda as perguntas a seguir.

4. A lista de etapas abaixo representa as etapas do processo de realização de atividades em sua empresa? Caso não, favor listar quais seriam as etapas e a ordem em que ocorrem.



5. Selecione abaixo quais ferramenta/tecnologia da Indústria 4.0 você conhece.

- Big Data
- Realidade Aumentada
- Internet das Coisas
- Computação em Nuvem
- Manufatura Aditiva
- Robôs e Sistemas autônomos
- Simulações
- Ciber Segurança
- Cyber Physical Systems
- Integração de Sistemas

6. Das ferramentas/tecnologias da Indústria 4.0 citadas na questão anterior, você acrescentaria mais alguma? Quais?

7. Nas atividades desenvolvidas pela sua empresa já é utilizada alguma ferramenta/tecnologia da Indústria 4.0? Quais?

9. Caso tenha inserido uma etapa ou uma ferramenta/tecnologia e queira relacioná-las, fique à vontade para colocá-las a seguir.

10. Na sua opinião quais são ou seriam os possíveis impactos, desafios, benefícios ou malefícios da inserção das ferramentas/tecnologias da Indústria 4.0 nas atividades de um laboratório de ensaios?

APÊNDICE 2

Autoavaliação

Atividade relacionada:

Equipe relacionada:

Questões para avaliação:

Item	Avaliação	Nota
Estratégia e Organização	Analisa os impactos da inserção dos conceitos e tecnologias da Indústria 4.0 no laboratório a médio e longo prazo?	
	Incorpora os conceitos e as tecnologias da Indústria 4.0 como principais fatores de melhoria contínua?	
	Possui formas e/métodos para monitorar e avaliar a evolução das ações da Indústria 4.0 em relação aos objetivos e metas estipuladas?	
	Há a possibilidade de investimentos necessários para implementar as tecnologias da Indústria 4.0?	
	Possui uma estrutura organizacional orientada à inovação e incorporação de novas tecnologias e métodos?	
	A gerência disponibiliza os recursos necessários para a realização das ações de transformação?	
	Possui uma forma ágil e digitalizada de se comunicar com os clientes?	
	As ações para inserção da Indústria 4.0 possuem como foco a segurança dos colaboradores e a confiabilidade e confidencialidade dos dados?	
	Há compartilhamento de experiências relevantes com outros laboratórios ou clientes?	
	Existe uma coordenação central para as ações de transformação da Indústria 4.0?	

Item	Avaliação	Nota
Laboratório inteligente	Os equipamentos possuem formas de uso digitais (softwares, supervisórios, emuladores, etc) ?	
	Existe troca de informações ágeis, digitais e automatizadas/dinâmicas entre as áreas?	
	Os equipamentos e instalações possuem sistemas que possibilitam o processamento de dados, e a comunicação entre si e com outros sistemas?	
	Os sistemas de monitoramento são capazes de armazenar dados durante a execução de ensaios, para basear futuras melhorias através de histórico de desempenho?	
	São adquiridos dados a partir de sensores e atuadores, de forma automatizada e em tempo real?	
	Os sistemas de monitoramento fazem uso da inteligência artificial, para análise de dados e auxiliar na tomada de decisões?	
	As áreas e as montagens de ensaio são reconfiguráveis de forma ágil, atendendo às variações de produtos ensaiados e aos tipos de ensaio?	
	São utilizados dispositivos móveis para otimizar as atividades?	
	Os sistemas de monitoramento integram-se com outros sistemas de gerenciamento do laboratório?	

Item	Avaliação	Nota
Atividades inteligentes	São utilizadas tecnologias de <i>hardwares</i> e <i>softwares</i> para armazenamento e processamento de dados?	
	São utilizadas tecnologias de segurança e integridade física dos colaboradores e de proteção de dados?	
	Os ensaios são capazes de operar de forma autônoma, auxiliados por sistemas de aprendizagem de máquinas?	
	As principais atividades são projetadas para um compartilhamento ágil de informações, internamente e com os clientes?	
	As principais atividades são digitalizadas e incorporadas em sistemas integrados de informação e comunicação?	
	As principais atividades possuem recursos digitais de simulação do desempenho e modelagem de montagem?	
	São utilizados recursos de computação visual como: sistemas supervisórios e sistemas ciber-físicos, para auxiliar as atividades?	
	Os recursos de computação visual fornecem informações e possuem interfaces que auxiliam nas atividades?	

Item	Avaliação	Nota
Equipe envolvida	Possui as habilidades técnicas e gerenciais requeridas para implementar as ações da Indústria 4.0?	
	Possui capacitações necessárias para as exigências técnicas e gerenciais relacionadas aos conceitos e tecnologias da Indústria 4.0 a serem utilizadas?	
	Possui capacidade de adaptação frente a alterações em seu ambiente de trabalho?	
	É consciente em relação aos desafios e benefícios da transformação digital?	
	Participa de alguma atividade de aprendizado contínuo, frente às mudanças de contexto?	

Médias

Estratégia e Organização:

Laboratório inteligente:

Atividades inteligentes:

Equipe envolvida: