UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Larissa Christina Vale de Paiva

Avaliar por meio de uma *survey* os impactos da indústria 4.0 na gestão da qualidade: uma pesquisa exploratória

Juiz de Fora
2021

Larissa Christina Vale de Paiva

Avaliar por meio de uma *survey* os impactos da indústria 4.0 na gestão da qualidade: uma pesquisa exploratória

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira de Produção.

Orientadora: D.Sc., Clarice Breviglieri Porto

Juiz de Fora

2021

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração
automática da Biblioteca Universitária da UFJF,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Paiva, Larissa Christina Vale de.
Avaliar por meio de uma survey os impactos da indústria 4.0 na gestão da qualidade: uma pesquisa exploratória / Larissa Christina Vale de Paiva. -- 2021.
65 p.

Orientadora: Clarice Breviglieri Porto
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2021.

1. Indústria 4.0. 2. Gestão da Qualidade. 3. Qualidade 4.0 . 4. Tecnologias emergentes. I. Porto, Clarice Breviglieri , orient. II. Título.

Larissa Christina Vale de Paiva

Avaliar por meio de uma *survey* os impactos da indústria 4.0 na gestão da qualidade: uma pesquisa exploratória

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira de Produção.

Aprovada em 10 de março de 2021

BANCA EXAMINADORA

D. Sc., Clarice Breviglieri Porto (Orientadora)

Universidade Federal de Juiz de Fora

D. Sc Eduardo Breviglieri Pereira de Castro

Universidade Federal de Juiz de Fora

D. Sc Mariana Paes da Fonseca

Universidade Federal de Juiz de Fora

AGRADECIMENTOS

Quando fui aprovada no vestibular para Engenharia de Produção não imaginava o quão transformadora e desafiadora seria essa jornada e que eu sairia uma pessoa tão diferente daquela caloura que começou sua trajetória alguns anos atrás nesta universidade. Vejo o quanto eu tenho que agradecer as pessoas que compartilharam desses momentos comigo e o tornaram tão importante.

Não foi fácil, os inúmeros cálculos que eu nem fazia ideia que existia e aprendi nesse curso, aprendi também a gostar dessa profissão e ver o quão incrível a Engenharia de Produção é. Isso graças aos professores que me guiaram e me passaram seus ensinamentos e experiências, tornando-me uma engenheira de fato. Em especial a minha orientadora Clarice por toda ajuda, ensinamentos e dedicação, não somente em sala de aula, mas também na elaboração deste trabalho e no apoio durante os meus estágios.

Aos meus amigos da faculdade que compartilharam e fizeram parte dessa jornada, que me motivou e caminhou junto comigo nos momentos difíceis, enfim fizeram dessa trajetória memorável e muito mais leve. Além disso, não poderia deixar de agradecer às instituições às quais tive o prazer de participar em minha trajetória acadêmica: Mais Consultoria Jr., Engenheiros sem Fronteiras, CRITT, Projeto Avance, muito obrigada pelas experiência trocadas e por me mostrarem as diferentes aplicações da Engenharia de Produção e o impacto que podemos causar quando compartilhamos nossos conhecimentos. Também, agradeço às minhas amigas de antes da UFJF, que mesmo não tendo um contato diário me apoiaram durante esses anos e estiveram presente quando eu precisava.

Por último, mas jamais menos importante, aos meus amados pais, Lúcia e Geraldo, por todos os ensinamentos, por estarem ao meu lado, por acreditarem no poder da educação e terem me apoiado incondicionalmente na minha trajetória. As minhas queridas irmãs, Gerlúcia e Lauriana, que desde criança me ensinaram a me dedicar em prol dos meus sonhos, além disso elas são grandes exemplos para mim, não só profissionalmente, mas também como pessoas. Aos meus adorados sobrinhos, Nicolas, Alícia, Letícia e Bernardo, que com a doçura da infância me encantam diariamente e alegram minha caminhada.

Com certeza, serei eternamente grata por todos que estiveram presentes nesta parte da minha história, a eles devo os meus mais sinceros agradecimentos. Muito obrigada!

RESUMO

Este estudo foi elaborado com o propósito de levantar quais são os impactos das tecnologias emergentes da indústria 4.0 na gestão da qualidade. Por meio de uma pesquisa bibliográfica, foi possível identificar o contexto atual da transformação digital e os avanços já observados na área da qualidade e as principais tecnologias que influenciam essa área. Além disso, foram apresentados três estudos de casos para assimilação prática acerca do tema e identificação de sua real importância. Por meio da aplicação de um questionário com colaboradores de diferentes empresas foi possível compreender quais tecnologias estão sendo utilizadas atualmente e quais os impactos detectados e esperados pelos profissionais na cadeia produtiva com o advento da indústria 4.0. Este tema é de extrema importância, uma vez que a gestão da qualidade foi diretamente influenciada pelas revoluções industriais anteriores, bem como pelo surgimento de novas tecnologias que buscam otimizar os processos.

Palavras-chave: Qualidade 4.0, indústria 4.0, gestão da qualidade, tecnologias emergentes, transformação digital.

ABSTRACT

This study was prepared with the purpose of surveying the impacts of emerging technologies from industry 4.0 on quality management. Through a bibliographic search, it was possible to identify the current context of digital transformation and the advances already observed in the area of quality and the main technologies that influence this area. In addition, three case studies were presented for practical assimilation on the topic and identification of its real importance. Through the application of a survey with employees from different companies, it was possible to understand which technologies are currently being used and which impacts were detected and expected by professionals in the production chain with the advent of industry 4.0. This subject is important, since quality management was directly influenced by previous industrial revolutions.

Keywords: Quality 4.0, industry 4.0, quality management, emerging technology, digital transformation.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNI: Confederação Nacional da Indústria

CPS: *Cyber Physical System*

CTQ: Controle Total da Qualidade

ERP: *Enterprise Resource Planning*

IA: Inteligência Artificial

IoT: *Internet of Things*

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Impactos esperados da indústria 4.0 no Brasil..... 13

Figura 2: As quatro revoluções industriais.....22

Figura 3: Tecnologias da Indústria 4.0.....23

Figura 4: O uso digital no mundo em 2019.....25

Figura 5: Princípios TQM.....30

Figura 6: Etapas da Inteligência Artificial Hyundai Motor.....34

Figura 7: Comparativo do resultado humano versus inteligência artificial.....35

Figura 8: Resultados da implementação do *Neexed Production Performance Manager*.....36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Gestão da Qualidade *versus* revoluções industriais.....32

Tabela 2: Comparação fábrica tradicional e *smart factory*.....41

Tabela 3: Princípios do TQM e oportunidades com a Indústria 4.0.....41

Tabela 4: Resumo das respostas seção 1 do questionário.....43

Tabela 5: Resumo das respostas seção 2 do questionário.....44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Ramo de atuação das empresas participantes da pesquisa.....46

Gráfico 2: Tamanho das empresas participantes da pesquisa.....46

Gráfico 3: Cargo na empresa dos participantes da pesquisa.....47

Gráfico 4: Relação de participantes que atuam na área de qualidade.....47

Gráfico 5: Nível de conhecimento acerca das tecnologias da indústria 4.0.....48

Gráfico 6: Relação de tecnologias utilizadas pelas empresas participantes.....48

Gráfico 7: Impactos versus tecnologias.....49

Gráfico 8: Nível de impacto na gestão da qualidade.....50

Gráfico 9: Tecnologias selecionadas como as mais impactantes.....51

Gráfico 10: Tecnologias utilizadas *versus* tamanho da empresa.....52

Gráfico 11: Conhecimento das tecnologias *versus* atuação na área de qualidade.....52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 13
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 13
1.2. JUSTIFICATIVA 15
1.3. ESCOPO DO TRABALHO 16
1.4 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS 17
1.5 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA 17
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO 19

2. REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS E A EVOLUÇÃO NA GESTÃO DA QUALIDADE 20
2.1. REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS 20
2.1.1 *Cyber Physical Systems* 23
2.1.2 *Internet of Things* 24
2.1.3 *Big Data e Data Analytics* 25
2.1.4 *Cloud Computing* 26
2.1.5 Manufatura Aditiva 26
2.1.6 Inteligência Artificial 27
2.1.7 Realidade Aumentada 27
2.2. EVOLUÇÃO DA GESTÃO DA QUALIDADE 28
2.3 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 33
2.3.1 Rolls-Royce 33
2.3.2 Hyundai Motor 33
2.3.3 Bosch 35

3. GESTÃO DA QUALIDADE NA ERA DA INDÚSTRIA 4.0 37
3.1 MÉTODO DE PESQUISA 37
3.2 AVANÇOS ESPERADOS NA GESTÃO DA QUALIDADE 37

4. PESQUISA SOBRE O IMPACTO DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NA GESTÃO DA QUALIDADE 42
4.1 ELABORAÇÃO DO QUESTIONÁRIO 42
4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA PESQUISA 43

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 53

REFERÊNCIAS 55

APENDICE 01 – QUESTIONÁRIO DA PESQUISA SOBRE IMPACTOS DA INDÚSTRIA 4.0 NA GESTÃO DA QUALIDADE..... 58

APÊNDICE 02 – RESPOSTAS QUESTÃO ABERTA DA PESQUISA 63

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Em 2011, durante a feira de Hannover, foi mencionado pela primeira vez o termo Indústria 4.0, o qual pode ser definido como um termo coletivo para as tecnologias e conceitos de uma organização da cadeia de valor que utiliza de tecnologias como *Cyber-Physical Systems*, *Internet of Things*, *Cloud Computing*, *Big Data*, entre diversas outras tecnologias (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016). A indústria 4.0 surgiu na Alemanha por meio de um conjunto de iniciativas e recomendações para o desenvolvimento tecnológico do país, com a participação de diversas esferas da sociedade, tais como governo, empresas privadas, instituições de ensino e pesquisa, centros de desenvolvimento tecnológico público e privado (VOGEL-HEUSE; HESS, 2016 *apud* SANTOS, 2018). Esse contexto influenciou a criação de diversos programas e iniciativas de incentivo ao desenvolvimento tecnológico por meio das tecnologias da indústria 4.0 pelo mundo, sendo que alguns países criaram programas específicos, como por exemplo, Estados Unidos, Brasil, China, Portugal e também a iniciativa da União Europeia. (SANTOS, 2018).

No Brasil, o Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio, e o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações juntamente com a Confederação Nacional da Indústria (CNI) e outras instituições elaboraram uma agenda com planos de ação para a Indústria 4.0 no Brasil com o intuito de implementar a manufatura avançada (SANTOS, 2018). Alguns dos impactos esperados com a implementação das práticas da indústria 4.0 podem ser observados na Figura 1.

Figura 1: Impactos esperados da indústria 4.0 no Brasil

Fonte: CNI, 2016 (Adaptado)

Em uma pesquisa realizada em 2020 a CNI revela que no cenário brasileiro a maioria das pequenas, médias e grandes empresas industriais (74%) adotam pelo menos uma tecnologia da indústria 4.0. Dentre essas tecnologias destacam-se *Cloud Computing* (52%), Sensores

(36%) e *softwares* de gestão avançada de produção (33%) (FBSPESQUISA, 2020). Esse resultado demonstra uma melhoria no cenário da indústria 4.0 no Brasil, pois no ano de 2016 apenas 48% das empresas utilizavam tecnologias digitais no processo produtivo (CNI, 2016). As tecnologias que em 2020 mais influenciaram o impacto positivo na lucratividade das empresas foram os sistemas de conexão máquina-máquina e *big data*, sendo que o grupo de empresas que utilizam essas tecnologias apresentaram um lucro 32% maior do que antes e no grupo de empresas que utilizam inteligência artificial o índice foi de 30% (FBSPESQUISA, 2020).

O foco da indústria 4.0 é tornar as fábricas mais inteligentes, flexíveis e dinâmicas pela fabricação de produtos utilizando sensores e sistemas autônomos (ROBLEK; MEŠKO; KRAPEŽ,2016 *apud* HAMID; *et al.*, 2019). Ou seja, as máquinas e equipamentos alcançam altos níveis de otimização e automação, caracterizado por um processo de fabricação capaz de cumprir padrões e requisitos de produtos mais complexos, com mais qualidade e conforme requisitado (ROBLEK, 2016 *apud* HAMID; *et al.*, 2019). Além disso, possibilita a personalização da produção ao mesmo tempo que se mantém a produção em massa e realiza uma interligação entre todos os elementos de produção (BLANCHET, 2015 *apud* SADER, HUSTI; DAROCZI, 2019).

Percebe-se, então, que a inserção de novas tecnologias em toda a cadeia de valor do processo produtivo, necessita que todas as áreas envolvidas na gestão empresarial e industrial se adaptem a essa nova perspectiva. Com base no exposto, a proposta deste trabalho é relacionar como os avanços tecnológicos oriundos da indústria 4.0 estão impactando a gestão da qualidade e quais adaptações estão ocorrendo nesta área.

A qualidade é algo importante para a sociedade a muitos séculos e em cada período histórico a gestão da qualidade se adaptou às necessidades do momento e ao conceito de qualidade subentendido naquele período. Um exemplo disso é que na Idade Média as famílias e grupos sociais confeccionavam seus próprios utensílios e roupas e os senhores feudais e profissionais fixavam suas marcas naqueles produtos, o que naquela época se caracterizou como o nível de qualidade ofertado por esses produtos (JURAN, 1995 *apud* ZONNENSHAIN; KENETT, 2020). Inicialmente, a qualidade estava relacionada com a avaliação somente do produto, em seguida inseriu-se a análise do processo na busca da qualidade. Posteriormente, a empresa também teve que ser analisada como algo que traria avanços na qualidade, então a qualidade não ficou restrita aos setores e processos envolvidos na produção do produto. No cenário da indústria 4.0 para se atingir a qualidade é necessário envolver todos os *stakeholders*,

tais como cliente, fornecedor, empresa e também analisar o processo e o produto (DARÓCZI; HUSTI; SADER, 2019).

Atualmente, a qualidade dos produtos, serviços e processos é essencial para se alcançar sucesso econômico sustentável e garantir competitividade (MÜLLER, 2014 *apud* FOIDL; FELDERER, 2016). O gerenciamento moderno da qualidade não significa apenas evitar a entrega de produtos defeituosos, mas procura garantir alto desempenho com eficiência máxima de todos os processos de uma organização. (SINGH; KHAN, 2012 *apud* FOIDL; FELDERER, 2016). Segundo Srinivasan e Kurvey (2014 *apud* NGAI, 2019), empresas com uma cultura desenvolvida de qualidade gastam em média US$ 350 milhões a menos que empresas com culturas de qualidade pouco desenvolvidas.

O cenário da qualidade está se modificando com a indústria 4.0. Albers (2016 *apud* SADER; HUSTI; DAROCZI, 2019) relatou o resultado de uma pesquisa onde 80% das empresas que utilizam a Indústria 4.0 obtiveram um aumento de eficiência e que 45% acreditam que houve uma melhora na satisfação do cliente devido a redução de produtos com defeitos. Esses resultados iniciais demonstram o como a indústria 4.0 pode ser benéfica para o gerenciamento da qualidade e para atingir os indicadores de desempenho da qualidade. No entanto, muitas empresas ainda não utilizam tecnologias da Indústria 4.0 e não enxergam a relação com a gestão da qualidade. Conforme uma pesquisa da Kearney quase metade dos entrevistados não consideram sua empresa inovadora no gerenciamento da qualidade e 76% enxergam a necessidade de introduzir métodos inovadores de qualidade, como *Big Data*, redes sociais e tecnologias da indústria 4.0. Neste caso as redes sociais são consideradas como provedoras de dados para o processo de qualidade (KRUBASIK, *2021*).

1.2. JUSTIFICATIVA

A escolha do tema pela autora se deve ao interesse pela Gestão da Qualidade ao longo da sua trajetória acadêmica e vivências práticas na empresa júnior e em estágios, em que atuou na área. Além da importância atual da transformação digital proporcionada pelo advento das novas tecnologias, as quais impactam em todo o processo produtivo e modificam as relações de trabalho. Com isso, a autora acredita que seja um tema de extrema relevância o estudo de como a Gestão de Qualidade se adapta às novas tecnologias oriundas da Indústria 4.0, visto que as revoluções industriais anteriores trouxeram impactos significativos para área da qualidade.

A transformação digital é um processo de adaptação das empresas a um novo cenário, o que evidencia alguns desafios nesse processo de transição para o uso de tecnologias mais

avançadas do que atualmente é utilizado. De acordo com a CNI (2016), o nível de heterogeneidade da indústria brasileira é um desafio na criação de incentivos para a indústria 4.0 no Brasil, sendo necessário que as políticas sejam adaptadas para os diferentes conjuntos de setores e de empresas, que assumirão velocidades e condições diferenciadas no seu processo de adaptação. Pode-se citar como desafios a adoção das novas tecnologias e capacitação da equipe para sua utilização, ampliação e melhoria da infraestrutura de banda larga, aspectos regulatórios e desenvolvimento de todos os envolvidos na cadeia produtiva (CNI, 2016).

Cabe ressaltar também, o incremento de conhecimento que o tema escolhido proporcionará, complementando os ensinamentos obtidos durante o curso de Engenharia de Produção, permitindo uma compreensão mais ampla sobre o currículo do curso e as habilidades técnicas necessárias ao futuro engenheiro. Em virtude disso, o estudo tem o intuito de disseminar o conhecimento acerca da engenharia de qualidade, importante área da Engenharia de Produção, e a indústria 4.0 que está presente em diversas áreas da Engenharia de Produção e de como estas se relacionam, bem como demonstrar e exemplificar os benefícios que a Indústria 4.0 proporciona para a Gestão da Qualidade. Ademais, o presente trabalho poderá gerar impacto difundindo as informações no meio acadêmico, possibilitando que mais estudantes conheçam as relações desses dois pilares da Engenharia de Produção.

1.3. ESCOPO DO TRABALHO

No trabalho desenvolvido, foi empregado uma pesquisa histórica longitudinal com o uso de referências bibliográficas que correlaciona a Gestão da Qualidade com a Indústria 4.0. O estudo teve o intuito de compreender as implicações que a nova revolução industrial irá causar na Gestão da Qualidade.

Assim, foi realizado um estudo na literatura acadêmica nacional e internacional presente no periódico Capes, tendo como objetivo compreender a evolução da Gestão da Qualidade e as revoluções industriais, bem como suas relações e impactos. No âmbito da Indústria 4.0 foi analisado quais são as características dessa nova revolução industrial e suas principais tecnologias tais como *Cyber-Physical Systems (CPS*), *Big Data, Internet Of Things (IoT), Cloud Computing,* Manufatura Aditiva, Inteligência Artificial e Realidade Aumentada. Já em relação a Gestão da Qualidade foi identificado as eras pela qual essa área passou e as especificidades de cada um, principalmente no tocante de como as revoluções industriais anteriores impactaram na gestão da qualidade.

Para complementação do estudo e maior assimilação prática foram analisados três estudos de casos, os quais expõem o uso de algumas tecnologias e elenca os avanços que esse uso proporcionou.

Além disso, foi aplicado uma pesquisa *online* por meio do *Google Forms* com colaboradores de empresas de diferentes ramos de atuação e porte, com o propósito de identificar quais tecnologias já são utilizadas, quais ganhos para Gestão da Qualidade essas tecnologias podem causar e quais são as tecnologias que na visão dos colaboradores terão os maiores impactos. Ou seja, a pesquisa teve o objetivo de compreender como as empresas estão se adaptando à nova realidade e qual a visão delas quanto ao cenário atual. Esta pesquisa foi aplicada entre os meses de janeiro e fevereiro de 2021.

Portanto, o presente trabalho visa responder às seguintes perguntas: Quais os impactos da Indústria 4.0 na Gestão da Qualidade? Qual a visão e nível de conhecimento dos colaboradores de empresas brasileiras quanto a Indústria 4.0?

1.4 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é compreender quais os avanços na Gestão da Qualidade são proporcionados pelo uso das tecnologias emergentes da Indústria 4.0, além de apresentar uma breve análise quanto esse novo cenário na visão dos envolvidos na área. Com o propósito de se atingir o objetivo geral, foram elencados os seguintes objetivos secundários:

- Demonstrar a correlação entre as eras da Gestão da Qualidade e as Revoluções Industriais;
- Identificar as principais tecnologias da Indústria 4.0;
- Identificar os avanços práticos apresentados pelo uso das novas tecnologias na Gestão da Qualidade por meio de estudos de casos reais;
- Avaliar o cenário industrial atual quanto a adaptação dos processos de qualidade às novas tecnologias na visão dos colaboradores de empresas brasileiras.

1.5 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa foi de cunho exploratório, por intermédio de uma pesquisa bibliográfica minuciosa em artigos e trabalhos científicos que apresentavam relação com "*Smart Quality Management*" e "*Quality 4.0*" no periódico Capes, sendo o critério para a primeira expressão contê-la e para a segunda a busca exata. A pesquisa se classifica desse modo,

pois segundo Gil (2008) as pesquisas exploratórias têm como principal finalidade desenvolver, esclarecer conceitos e ideias e são desenvolvidas com o objetivo de proporcionar visão geral, de tipo aproximativo, acerca de determinado fato.

Para uma assimilação prática foram analisados três exemplos reais da aplicação da indústria 4.0 que apresentaram resultados significativos na área de Gestão da Qualidade a partir da implementação das tecnologias da indústria 4.0.

Por meio da análise do referencial teórico acerca do tema e os estudos de casos, foi verificada a inter-relação entre as áreas, classificando-se assim em uma pesquisa qualitativa, uma vez que tem como finalidade a ênfase na descrição e explicação de fenômenos, a utilização de processos indutivos, a fim de construir conceitos, hipóteses e teorias (KNECHTEL, 2014).

Além disso, foi observado os resultados de uma pesquisa com colaboradores de empresas brasileiras. A pesquisa relaciona as tecnologias utilizadas atualmente por essas empresas, a inter-relação entre as tecnologias e os avanços da gestão da qualidade. Desta forma, pode-se considerar que este trabalho tem uma abordagem combinada, ou seja, qualitativa e quantitativa. O que consiste em coletar e analisar tanto dados quantitativos como qualitativos em um único estudo, obtendo informações numéricas e informações de texto (CRESWELL, 2007). A amostragem utilizada, foi do tipo não probabilística, pois foi uma coleta baseada em critérios definidos previamente, ou seja, a definição da amostra não foi aleatória. Em relação ao tipo foi um misto entre bola de neve, os participantes compartilhavam entre si a pesquisa, e conveniência, compartilhamento da pesquisa em uma amostra acessível (SILVA, GRAMS e SILVEIRA, 2018). Visto que a pesquisa foi compartilhada em grupos do LinkedIn referentes a área de qualidade e também os participantes poderiam compartilhar para outras pessoas. Os participantes da pesquisa deveriam atuar na área de qualidade, aqueles que não atuavam diretamente com essa área precisavam ter conhecimentos acerca de qualidade. Por isso, foi incluída uma pergunta de validação na pesquisa, na qual somente permitia prosseguir no questionário aqueles que selecionasse que tinha conhecimento na área de qualidade – essa pergunta era feita somente para aqueles que não trabalhavam diretamente com qualidade.

Então, com os estudos e dados citados acima coletados e analisados foi demonstrado a relação entre as novas tecnologias e a gestão da qualidade, bem como um breve cenário de qual a posição brasileira perante o uso dessas tecnologias e quais impactos esperados ou já observados nestas empresas, de acordo com o questionário.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é apresentado em cinco capítulos, os quais apresentarão os resultados encontrados na pesquisa bibliográfica e na pesquisa com colaboradores das empresas acerca da visão do papel das novas tecnologias na gestão da qualidade.

No primeiro capítulo é apresentado uma introdução acerca do tema, contendo uma breve explicação sobre a indústria 4.0, sobre a qualidade nos dias de hoje e sobre o cenário brasileiro quanto a adaptação a nova revolução. A seguir, é explicada a metodologia de trabalho e sua justificativa.

No segundo capítulo é exposto uma análise histórica quanto às revoluções industriais ocorridas anteriormente, correlacionando-as com as eras da qualidade, bem como é apresentado as principais tecnologias emergentes da indústria 4.0.

No terceiro capítulo são indicados os avanços esperados e já alcançados com as tecnologias da indústria 4.0 para a gestão da qualidade conforme estudo bibliográfico. Além disso, é exemplificado três estudos de caso na área, e o como foi elaborado o questionário para analisar o cenário da indústria perante as novas tecnologias e os avanços da qualidade *versus* as tecnologias.

No quarto capítulo foi discutido os resultados obtidos na pesquisa com os participantes para compreensão de como as novas tecnologias da Indústria 4.0 estão sendo empregadas nas empresas, quais impactos já são enxergados ou esperados na relação das tecnologias e o nível de impacto das mesmas.

No último capítulo foi desenvolvida uma conclusão acerca deste estudo.

2. REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS E A EVOLUÇÃO NA GESTÃO DA QUALIDADE

Este capítulo visa descrever de forma sucinta, com base na literatura existente, o histórico das revoluções industriais e suas características, bem como apresentar a evolução da gestão da qualidade. Além disso, aborda a Indústria 4.0 e suas principais tecnologias e o cenário atual da Gestão da Qualidade. Dessa maneira, pretende-se apresentar o embasamento para compreender a relação entre essas duas áreas.

2.1. REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS

Durante os últimos séculos, o mundo passou por diversas transformações, tanto econômicas quanto sociais, que foram marcadas por três revoluções industriais, que modificaram profundamente os sistemas produtivos. Atualmente, vivencia-se a Quarta Revolução Industrial, mais conhecida como Indústria 4.0 (DARÓCZI; HUSTI; SADER, 2019).

No século XVIII era predominante a manufatura artesanal realizada em casas ou pequenas oficinas, caracterizada por um baixo volume de produção, não padronização dos produtos e domínio de todo processo produtivo pelos trabalhadores. Visto esse cenário, iniciou-se uma transformação no processo produtivo, o qual começou a ser desenvolvido por máquinas, como o tear mecânico, inventado por James Hargreaves em 1767. Além disso foram estabelecidas as primeiras fábricas (SACOMANO *et al.*, 2018). O desenvolvimento da energia mecânica através da água e do vapor foi o grande precursor no avanço dessa revolução. (SADER; HUSTI; MIKLOS, 2017)

Devido a Primeira Revolução Industrial novos níveis de industrialização foram alcançados e teve-se a continuidade no processo de aprimoramento da indústria nos anos seguintes, evidenciado pelo desenvolvimento de novas técnicas e introdução de novos meios de produção (FERREIRA; REIS, 2011). Assim, teve-se a origem a Segunda Revolução Industrial, no começo do século XX, dando início a produção em massa e também a um maior estudo acerca do processo produtivo, tais como a introdução do estudo dos tempos e movimentos das tarefas de produção, o que permitiu um maior gerenciamento das fábricas. Durante essa revolução desenvolveu-se o controle do processo e da qualidade do produto por meio da análise de dados estatísticos, com o intuito de compreender o que ocasionava a variação produtiva. Esse cenário diminuiu a necessidade de inspeção, que era uma característica marcante da Primeira Revolução Industrial (ZONNENSHAIN; KENETT, 2020). A estatística tornou-se o principal método de influência para a área de gestão da qualidade entre 1930 e 1940,

uma vez que por meio do Controle Estatístico da Qualidade buscava-se uma redução no desvio da produção (HAMID *et al.*, 2019).

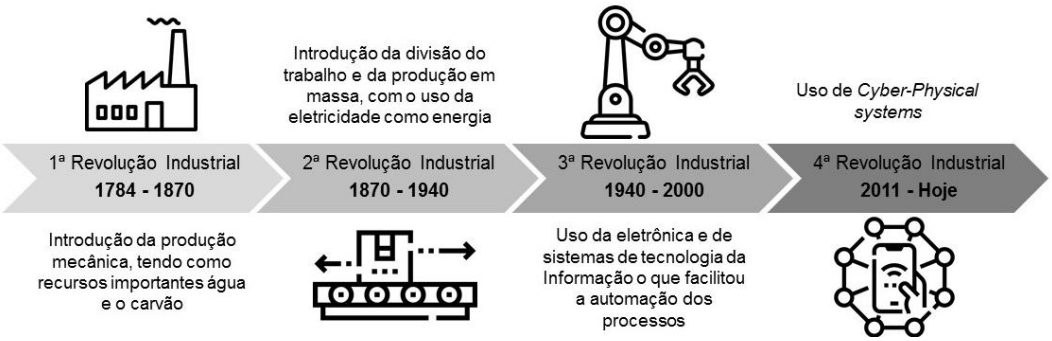
A partir da década de 1950 iniciou-se a Terceira Revolução Industrial influenciada pelo término da Segunda Guerra Mundial e a necessidade dos países se reconstruírem (SACOMANO *et al.*, 2018). Esta década pode ser considerada um ponto de virada no campo do gerenciamento da qualidade, visto que durante esse período teve-se a Revolução Industrial Japonesa, permitindo a implementação na indústria de diversas ferramentas e técnicas que são utilizadas até os dias atuais, tais como Controle Estatístico de Processo, Engenharia de Confiabilidade, Kaízen, Manutenção Preventiva, *Just-in-Time*, entre outros (HAMID *et al.*, 2019). Esse cenário foi possibilitado, visto que ao fim da Segunda Guerra Mundial, o Japão encontrava-se devastado e com poucos recursos, com isso o governo criou um pacote de incentivos à redução do desperdício. Por esse motivo, surgiu-se o Sistema Toyota de Produção, conhecido como produção enxuta (*lean manufacturing*). O Sistema Toyota de Produção tem como objetivo a redução de desperdício, produção do que agregue valor ao produto, preocupação com a qualidade desde do projeto ao produto, produção conforme demanda e padronização (SACOMANO *et al.*, 2018).

A Quarta Revolução Industrial, iniciou-se na virada do milênio, apoiando-se na "revolução digital" iniciada ao final Terceira Revolução Industrial (CORRÊA, 2019). O desenvolvimento e implementação de digitalização e novas tecnologias na produção causaram mudanças no setor, conhecidas como Indústria 4.0. Benesová *et al* (2019) afirmam que a Indústria 4.0 marca uma nova era baseada na conexão do mundo virtual e real.

Ainda nos dias atuais é vivenciada a Indústria 4.0, que lida com a conexão de todas as partes das máquinas por meio de cadeias de dados e operações integradas. A revolução, no limiar atual, é marcada pela vinculação de subcomponentes do processo de produção via *Internet of Things* (IoT) (TUPA; SIMOTA; STEINER, 2017). O surgimento da Quarta Revolução Industrial foi influenciado pelo avanço no nível de informações e também devido ao surgimento das novas tecnologias de comunicação, bem como a integração dessas tecnologias com o setor industrial por meio dos chamados *Cyber-Physical Systems* (CPS), originando assim as *Smart Factories*, ou seja, nesse ambiente é possível a comunicação de máquinas, produtos e pessoas em toda a extensão da cadeia, eliminando as fronteiras entre o mundo físico e o virtual. Justamente, o uso da inteligência é o recurso precursor da Indústria 4.0, enquanto que nas anteriores o recurso eram carvão, vapor, eletricidade (SADER; HUSTI; DAROCZI, 2019).

Na Figura 2, pode-se visualizar as quatro revoluções descritas.

Figura 2: As quatro revoluções industriais



Fonte: Autora (Ícones do Flaticon, 2021)

Para a implementação da Indústria 4.0 é necessário que se tenha um ambiente propício para a aplicação das novas tecnologias e das mudanças necessárias no processo produtivo. Com isso, um dos requisitos é a integração dos sistemas, ou seja, que máquinas, equipamentos e colaboradores estejam integrados no novo ambiente produtivo. Por outro lado, essa integração é um dos grandes desafios para a Indústria 4.0, visto que uma empresa possui diversos equipamentos que utilizam sistemas específicos dos seus fabricantes, e esses sistemas são de diferentes fabricantes e na maior parte das vezes não se integram entre si (SACOMANO; *et al.*, 2018).

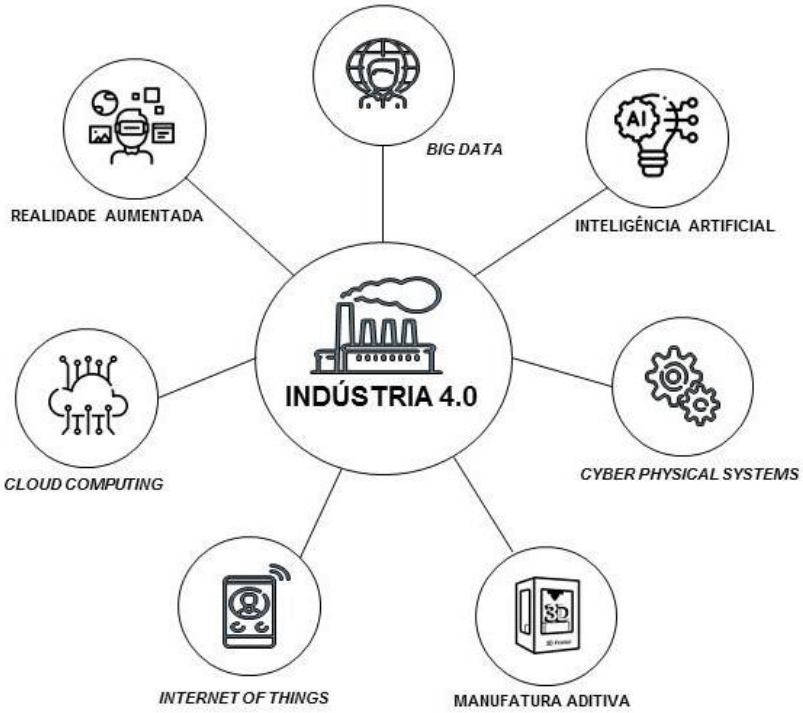
Segundo Foidl e Felderer (2016) a integração de sistemas é apresentada em três aspectos chaves: integração vertical, integração horizontal e integração de ponta a ponta. A Integração vertical refere-se à criação de sistemas flexíveis e reconfiguráveis de sistemas de fabricação por meio da integração perfeita dos sistemas hierárquicos dentro de uma empresa (FOIDL; FELDERER, 2016). Isto é, realmente incluir no sistema de fabricação todos os setores das empresas, como, por exemplo de *marketing*, de pesquisa, de desenvolvimento, financeiro, logístico e vendas, ou seja, uma integração total da companhia (PEREIRA; ROMERO, 2017 *apud* SADER; HUSTI; DAROCZI, 2019). Já a integração horizontal é a integração dos dados em toda a cadeia de valor, do fornecedor ao cliente final, ou seja, essa integração ocorre entre empresas diferentes (NARULA *et al.*, 2020). Por último, a integração de ponta a ponta é a integração geral de todo o regime de produção, tendo um sistema descentralizado no qual permite que todas as entidades participantes tenham acesso em tempo real as informações, sendo o controle realizado instantaneamente (BRETTEL; 2014 *apud* DARÓCZI; HUSTI; SADER, 2019).

A Indústria 4.0 influenciou o surgimento da *Intelligent Manufacturing*, também conhecida como *Smart Manufacturing*, que consiste de uma manufatura que tem como objetivo

otimizar a produção e as transações dos produtos, para isso utiliza-se das novas tecnologias e da maior disponibilidade de informações. É considerado um novo modelo de fabricação baseado em ciência e tecnologias inteligentes, que são o alicerce no desenvolvimento dessa nova revolução. Espera-se que com essas tecnologias a eficiência da produção, a qualidade do produto e o nível de serviço sejam aprimorados (ZHONG *et al.*, 2017).

As principais tecnologias que embasam a Indústria 4.0 são as apresentadas na Figura 3, e serão explicadas detalhadamente nos tópicos seguintes deste trabalho.

Figura 3: Tecnologias da Indústria 4.0



Fonte: Autora (Ícones do Flaticon, 2021)

2.1.1 *Cyber Physical Systems*

Nos últimos séculos houve o desenvolvimento da área de computação, com o surgimento dos computadores nas décadas de 1960 e 1970, posteriormente no período de 1980 e 1990 ocorreu o desenvolvimento dos computadores *desktops* e a origem da Internet e maior acessibilidade de conexão nos anos seguintes. Já no início dos anos 2000, teve-se um maior aprimoramento da computação, possibilitando uma computação mais difusa, bem como a realização de cálculos em qualquer hora e lugar. Esse contexto, foi prelúdio do desenvolvimento de uma sociedade voltada para informações e de novos sistemas. Atualmente, vivencia-se o surgimento do *Cyber-Physical Systems (CPS)*, que consiste em um sistema complexo que integra computação, comunicação e tecnologias de controle (LIU *et al.*, 2017).

Os CPSs podem ser vistos como uma nova geração de sistemas que mesclam o mundo físico e o mundo cibernético (DRATH, 2014 *apud* FOIDL; FELDERER, 2016), permitindo o melhor monitoramento de processos físicos. Além disso, um grande avanço conquistado é a possibilidade de criar uma cópia virtual do mundo físico na qual é permitido a realização de teste de diferentes cenários, o que influencia em uma tomada de decisão mais assertiva e descentralizada (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

Com isso, este novo sistema permitirá a comunicação e também a cooperação de unidades independentes (sensores, máquinas). As unidades serão capazes de decidir independentemente, gerenciar as unidades tecnológicas designadas e tornar-se independente e membro com pleno direito sobre o complexo processo produtivo (BENESOVÁ *et al.*, 2019).

A *Cyber-Physical Systems* é considerada um campo novo e ainda em estudo, porém é definida como a integração de computação com os processos físicos, que envolve computadores embutidos e redes de monitoramento e controle dos processos físicos (LEE, 2007). Em virtude disso, pode-se observar a importância da integração de máquinas e, isso tem sido o objetivo das indústrias no sentido de buscar tecnologias de informação e comunicação para o gerenciamento de processos de maneira mais eficiente (SACOMANO *et al.*, 2018).

2.1.2 *Internet of Things*

A indústria 4.0 é a aplicação do *Cyber-Physical Systems* com tecnologias orientadas para Internet e dispositivos inteligentes com interação homem máquina (SONY; ANTONY; DOUGLAS, 2020). Os CPSs podem se comunicar e cooperar por meio da *Internet Of Things* (IoT), que é uma outra importante tecnologia da Indústria 4.0, a qual oferece dados relevantes e informações em rede (LEE, 2015 *apud* FOIDL; FELDERER, 2016). Em geral, a *Internet of Things* é capaz de oferecer conectividade avançada de objetos físicos, sistemas e serviços, permitindo a comunicação entre objetos e compartilhamento de dados (ZHONG *et al.*, 2017).

A quarta revolução industrial, segundo Tupa; Simota e Steiner (2017) no limiar em que se encontra, é marcada pela ligação de subcomponentes do processo produtivo pela *Internet of Things*. A IoT é uma rede mundial interconectada em que objetos são incorporados com sensores eletrônicos, atuadores ou dispositivos digitais para que sejam conectados em rede com a finalidade de recolher e trocar dados (XIA; YANG; WANG, 2012 *apud* ZHONG *et al.*, 2017), sendo que esses dispositivos podem se comunicar e interagir com outros pela internet, podendo ser monitorados e controlados remotamente (ZONNENSHAIN; KENETT, 2020). A *IoT* permite a comunicação de todos os dispositivos entre si como já comentado, mas também

possibilita essa comunicação e cooperação com humanos em tempo real (SACOMANO *et al.*, 2018), quando se fala em humanos faz referência a todos os *stakeholders* envolvidos no processo, tais como clientes, fornecedores, colaboradores (NARULA *et al.*, 2020).

2.1.3 *Big Data e Data Analytics*

O uso mais abrangente da Tecnologia da Informação na Terceira Revolução Industrial ocasionou uma transformação digital, caracterizada pelo uso de computadores, *tablets*, *smartphones*, conexão de internet mais acessível, bem como o uso das redes sociais mais difundidas (SACOMANO *et al.*, 2018). Esse cenário teve uma expansão nos anos seguintes até os dias atuais, podendo o panorama em 2019 sobre o uso digital ser observado na Figura 4.

Figura 4: O uso digital no mundo em 2019

Fonte: Autora (Adaptado de KEMP, 2019; Ícones do Flaticon, 2021)

O mercado se adaptou à nova realidade, na qual os consumidores são mais presentes digitalmente do que em comparação a períodos anteriores, proporcionando uma base de dados com mais informações acerca deles (SACOMANO *et al.*, 2018). O *Big Data* e a *Cloud Computing* garantem a capacidade de conduzir de forma rápida e eficiente o gerenciamento dos bancos de dados em constante crescimento (LEE, 2014 *apud* DARÓCZI; HUSTI; SADER, 2019). Ou seja, *Big Data* relaciona-se com toda a infraestrutura para gerenciamento e análise de grandes conjuntos de dados que chegam rapidamente, em diferentes formatos, com alta variação de qualidade desses dados e de diferentes *stakeholders* (SISODIA; FORERO, 2020). Contudo, *Big Data* pode interconectar dados de diferentes fontes. Por isso, normalmente, decorre de vários canais, incluindo sensores, dispositivos, vídeo/áudio, redes, arquivos de *log*, aplicativos transacionais, *web*, e *feeds* de mídia social, representando 2,5 quintilhões de *bytes* de dados criados diariamente (RICH, 2012).

Os objetos inteligentes interconectados geram grande quantidade de dados, que permitem um aperfeiçoamento e tomadas de decisões mais embasadas estrategicamente pela empresa (SACOMANO *et al.*, 2018). Portanto, para organizações e fabricantes com abundância

de recursos operacionais, tais com os dados de chão de fábrica, técnicas avançadas de análise, a *Big Data* disponibiliza informações e ferramentas importantes para descobrir padrões ocultos, correlações desconhecidas, tendências de mercado, preferências do cliente e outras informações comerciais úteis (ZHONG *et al.*, 2017). A avaliação em grande escala destes dados gerados, o qual possibilita esta tomada de decisão em tempo real em todos os aspectos da manufatura é denominada *Big Data Analytics* (NARULA *et al.*, 2020).

2.1.4 *Cloud Computing*

Neste trabalho, já foi relatado o como a Indústria 4.0 traz uma abundância de dados, com isso, *Cloud Computing* é justamente o gerenciamento, em tempo real, destes dados em um sistema aberto, bem como a comunicação digital em tempo real que permite a otimização de todos os aspectos da produção (NARULA; DWIVEDY *et al.*, 2020). Em geral, *Cloud Computing* se refere à entrega de serviços computacionais por meio de recursos visualizados e escalonáveis pela internet (XU; 2012 *apud* ZHONG *et al.*, 2017).

O cenário atual demonstra que a produção de bens e serviços na era da Indústria 4.0 necessita do uso de aplicativos e dados que estejam compartilhados entre diferentes locais e sistemas, isso muito além de apenas um compartilhamento dentro de uma mesma fábrica, pelo servidor interno por exemplo, sendo necessário que se expanda esse compartilhamento para toda a cadeia. Justamente isso que a tecnologia de *Cloud Computing* possibilita (ALMEIDA, 2019).

Um grande desafio da Indústria 4.0 é com relação ao aumento dos ataques cibernéticos, o que pode expor dados importantes e secretos das empresas, então é necessário ter processos regulatórios quanto a isso (BENEšOVÁ *et al.*, 2019). Com isso, para *Cloud Computing* a questão de segurança e privacidade deve ser avaliada criteriosamente, já que é por meio desta tecnologia que se tem o armazenamento e compartilhamento dos dados (ZHONG *et al.*, 2017).

2.1.5 Manufatura Aditiva

Na visão popular acredita-se que a manufatura aditiva é uma tecnologia nova, porém a mesma teve origem no ano de 1980. Contudo, esta tecnologia passou por um processo de incremento tecnológico desde a sua invenção. Tais incrementos possibilitaram um aprimoramento eletrônico e de novos materiais (MARQUES, 2014).

A manufatura aditiva também conhecida como impressão 3D, consiste na produção de peças a partir de camadas sobrepostas de materiais e a partir das dimensões previamente programadas a partir de um *design* digital em três dimensões elaborado em um *software* de desenho para computadores, por exemplo, *Computer Aided Design* (CAD) e com o projeto pronto é transmitido para a impressora 3D, no qual será confeccionado (ALMEIDA, 2019). Basicamente, o processo de concepção de um objeto na impressora 3D é caracterizado pela adição de diferentes camadas de um material (CORRÊA, 2019).

2.1.6 Inteligência Artificial

Em 1956, durante o seminário Darthmouth, foi a primeira vez que o termo Inteligência Artificial (IA) foi citado. A Inteligência Artificial é a área de ciência da computação que tem o intuito de desenvolver sistemas inteligentes, semelhantes ao funcionamento do sistema humano, sendo capaz de aprender, raciocinar e solucionar problemas (BARR; FEIGENBAUM, 2014 *apud* QUINTINO *et al.*, 2019). Ou seja, a IA busca projetar o raciocínio de um ser humano, o modo de pensar e agir dos humanos, em uma máquina através de dispositivos ou métodos computacionais, com isso a máquina poderia resolver questões complexas e problemas mais rapidamente e mais assertivamente do que os humanos. Além do que a IA não ficaria restrita somente a controlar o processo, futuramente terá o poder de tomar decisões independentemente (SACOMANO *et al.*, 2018).

Alguns benefícios da utilização da Inteligência Artificial seria a diminuição do trabalho repetitivo por parte dos humanos, podendo então utilizar o seu tempo com questões mais estratégicas e que agreguem maior valor ao processo, outros pontos positivos seriam a redução de problemas ergonômicos e maior velocidade de trabalho (QUINTINO *et al.*, 2019).

Atualmente, a IA já é utilizada por algumas empresas, por exemplo, Amazon e Netflix que usam algoritmos de Inteligência Artificial para prever quais filmes e livros o usuário gostaria de assistir e ler, de acordo com o que já foi consumido (SCHWAB, 2018 *apud* QUINTINO *et al.*, 2019).

2.1.7 Realidade Aumentada

A Realidade Aumentada é um dos pilares da Indústria 4.0 menos desenvolvido até o momento, podendo ser utilizada em diferentes campos, tais como medicina, educação e outros. Essa tecnologia pode ser adaptada a realidade e necessidade da indústria, tais como o envio de

instruções de montagem via celular para o desenvolvimento de peças de protótipo, o uso de óculos de realidade aumentada para gestão e a operação de determinadas máquinas (ALMEIDA, 2019).

Como pode ser observado a realidade aumentada é uma das tecnologias que é utilizada para apoiar os operadores em suas tarefas, consistindo em possibilitar a visualização e interação, por meio de uma interface homem máquina (LAMAS *et al.*, 2018). O uso da realidade aumentada auxilia em processos de montagem complexo, manutenção, garantia da qualidade e logística (NARULA *et al.*, 2020)

2.2. EVOLUÇÃO DA GESTÃO DA QUALIDADE

Uma das palavras mais difundidas junto à sociedade nos dias atuais é qualidade, contudo existe pouco entendimento sobre o que realmente é qualidade. Isso ocorre devido ao subjetivismo associado à qualidade e também ao uso popular e genérico com que essa palavra é empregada (TOLEDO *et al.*, 2017). Um dos motivos para que isso aconteça é a percepção individual do que vem a ser qualidade, sendo modificado de acordo com a necessidade de cada indivíduo, das experiências e expectativas, seja na compra ou uso dos mesmos produtos e serviços (PACHECO, 2018).

Garvin (1992) analisou essa multiplicidade de entendimentos e associa esse fator com a evolução do conceito de qualidade ao longo do século XX. Até o início dos anos 1950, a qualidade do produto era entendida como sinônimo de perfeição técnica. Ou seja, a qualidade era focada tanto no produto como na produção. A partir da década de 1950, com a divulgação do trabalho de Juran, qualidade passou a ser conceituada como satisfação do cliente quanto à adequação do produto ao uso e as suas necessidades. E, a satisfação relacionava-se com a ausência de defeitos e presença de atributos que tornem o produto adequado ao uso pretendido e, portanto, satisfaça (CARPINETTI, 2016).

Nas últimas décadas e possivelmente nas futuras o entendimento predominante é a conceituação da qualidade como satisfação dos clientes (CARPINETTI, 2016). De acordo com a ISO 9000 (2015), uma organização focada na qualidade promove uma cultura que se traduz em comportamentos, atitudes, atividades e processos que proporcionam valor ao satisfazer as necessidades e as expectativas dos clientes e de outras partes interessadas relevantes.

Contudo, é importante compreender o processo de evolução da gestão da qualidade até os dias atuais. Conforme já descrito, as tecnologias evoluíram de acordo com cada revolução industrial, da mesma forma a gestão da qualidade evoluiu durante os anos, influenciada

justamente pelo desenvolvimento tecnológico e por processos político-históricos (OLIVEIRA, 2015).

Antes da Primeira Revolução Industrial, as atividades produtivas estavam nas mãos dos artesãos (OLIVEIRA, 2015). Nessa fase, o artesão desenvolvia todas as atividades: concepção, escolha de materiais, produção e comercialização, mantendo um contato direto com os clientes. Produziam-se pequenas quantidades de cada produto, e as peças eram ajustadas manualmente. Com isso, a qualidade era uma atividade de autocontrole, logo, estava focada na inspeção dos produtos, sendo esse período conhecido como a Era da Inspeção (CARPINETTI, 2016). Durante esse período, surgiu uma necessidade de reestruturação nos processos de produção, o que ocasionou um aumento no número de inspeções e a necessidade de torná-las parte de diversas etapas produtivas e não somente realizadas ao final da produção (TOLEDO *et al.*, 2017).

A partir do final da década de 1930, H. F. Dodge e H. G. Romig desenvolveram técnicas para a inspeção de lotes de produtos por amostragem, tendo como base uma abordagem probabilística para a previsão da qualidade do lote levando em consideração a qualidade da amostra. Devido a isso, consolidou-se as técnicas de inspeção por amostragem com uso de métodos estatísticos (CARPINETTI, 2016). Esse cenário juntamente com o nascimento de elementos da administração científica impulsionaram o surgimento da Era de Controle Estatístico (OLIVEIRA, 2015). Nesta era, a melhoria contínua da qualidade era o uso de ferramentas estatística e ainda limitadas a ações corretivas. Além disso, a verificação de atingimento da conformidade era baseada em um padrão estabelecido para o produto pelo produtor e não pelo cliente (HAMID *et al.*, 2019).

O desenvolvimento tecnológico e industrial advindo do período pós-Segunda Guerra impulsionou a Era da Garantia da Qualidade. Ou seja, período no qual o principal objetivo era garantir a qualidade dos produtos e dos processos envolvidos em sua produção, por meio do gerenciamento de todos os processos de influência na qualidade do produto final. Nesse período desenvolveu a mentalidade que para obter um produto de alta qualidade é necessário ações integradas de garantia da qualidade em todos os processos e setores da empresa que, direta ou indiretamente, possam influenciar na qualidade do produto final, isso tem como base o conceito de Controle Total da Qualidade (CTQ) (TOLEDO et al, 2017).

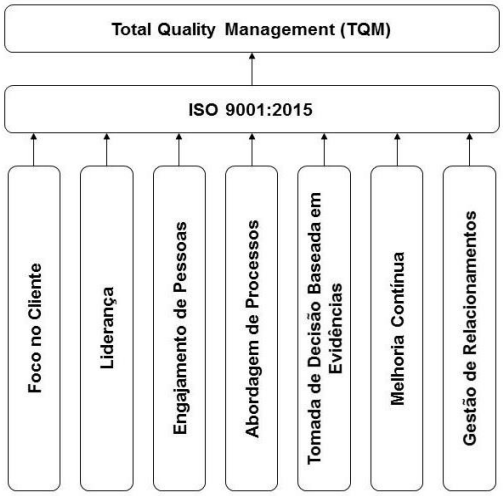
O controle da qualidade se desenvolveu, especialmente nos Estados Unidos, a partir das ideias desenvolvidas por Juran, Deming e Feigenbaum, após a perda de mercado e competitividade das empresas americanas para os concorrentes japoneses, as quais tiveram um grande crescimento no período pós Segunda Guerra Mundial e ofertavam produtos de qualidade

e confiabilidade superiores. (CARPINETTI, 2016). Esse período é conhecido como a era da Gestão Estratégica da Qualidade, a qual ampliou a visão da qualidade total e passou a considerar o cenário externo (OLIVEIRA, 2015). Com isso, a gestão da qualidade total envolve a cooperação de todos na organização e processos de negócios associados para produzir produtos e serviços com boa relação custo benefício, que atendam e superem as necessidades e expectativas dos clientes (DALE, 2003 *apud* HAMID *et al.*, 2019). Além disso, o foco da qualidade não é apenas sobre os sistemas, mas inclui as pessoas, logo, os colaboradores da organização que buscam a excelência no negócio (HAMID *et al.*, 2019).

Atualmente, a gestão da qualidade é influenciada pela indústria 4.0, a qual originou um novo termo na gestão da qualidade, *Quality 4.0*, no português Qualidade 4.0, o qual é definido como a busca por excelência de desempenho no cenário atual composto pela transformação digital, através do uso de tecnologias disruptivas (RADZIWILL, 2018). Ou seja, o alinhamento entre o gerenciamento da qualidade e a Indústria 4.0, permite um aprimoramento dos métodos tradicionais de qualidade. Para isso, as tecnologias de CPS, IoT, *Cloud Computing* são, atualmente, usadas para o atendimento dos requisitos de qualidade de *design*, conformidade e desempenho (SONY; ANTONY; DOUGLAS, 2020). A construção da Qualidade 4.0 tem como base os objetivos do *Total Quality Management* (TQM), no português Gestão da Qualidade Total, uma vez que eles permanecem os mesmos nesse contexto de digitalização (SISODIA; FORERO, 2020).

De acordo com ISO 9001:2015, existem sete princípios que são considerados as diretrizes para adoção de um sistema de qualidade relacionado ao TQM, conforme Figura 5. A ISO 9001:2015 é uma norma técnica internacional que credita a gestão da qualidade das empresas, tal norma é mantida e atualizada pela Organização de Padrões Internacionais.

Figura 5: Princípios TQM



Fonte: Daróczi, Husti e Sader, 2019 (Adaptado)

A seguir a descrição de cada princípio baseado na ISO 9001:2015:

- **Foco no cliente**: visa mostrar o compromisso da liderança em atender as necessidades e expectativas dos clientes, garantindo consistência com os requisitos regulamentares e estatutários, identificando riscos e oportunidades com o intuito de atingir a satisfação dos clientes com a qualidade dos produtos e serviços entregues;
- **Liderança**: tem como intuito estabelecer uma equipe comprometida com os objetivos da qualidade da empresa;
- **Engajamento de pessoas**: prega a importância que os colaboradores em todos os níveis da organização estejam engajados em criar e entregar valor aos clientes;
- **Abordagem de Processos**: visa a definição sistemática e gestão de processos e suas inter-relações dentro da empresa;
- **Tomada de decisão baseado em evidências**: afirma que os resultados são mais prováveis de serem alcançados por decisões tomadas com embasamento em dados e informações precisas;
- **Melhoria contínua**: consiste na organização buscar a melhora contínua da consistência, adequação e eficácia do Sistema de Gestão da Qualidade;
- **Gestão de relacionamentos**: visa o gerenciamento sustentável de todas as partes interessadas da organização, visto que eles são os fatores chaves na obtenção de sucesso;

Como pode ser observado o desenvolvimento das tecnologias influenciaram a gestão da qualidade, ou seja, é possível perceber a relação das revoluções industriais e as adaptações da qualidade às novas tecnologias, surgindo assim novos conceitos, ferramentas e focos diferentes na área de gestão da qualidade durante os últimos anos. Na Tabela 1 é possível observar a relação entre as revoluções industriais e as características da gestão da qualidade.

Tabela 1: Gestão da Qualidade *versus* revoluções indústria

Período	Revolução Industrial	Características da Revolução	Período da Qualidade	Características da qualidade
Até 1870	Indústria 1.0	Recursos para geração de energia: água e carvão; O desenvolvimento das fábricas em detrimento do trabalho artesanal independente; Aumento da produção através do desenvolvimento mecânico; O trabalho se concentra em realizar as tarefas com mais rapidez e consistência; Transporte/movimentação de mercadorias ocorre com mais frequência.	Era da Inspeção	Qualidade era garantida através de medição e inspeção; O volume de produção é enfatizado em vez da qualidade; A inspeção não era focada em reduzir custos e eliminar desperdício; As condições de trabalho não eram importantes;
1870 - 1940	Indústria 2.0	Geração de energia é feita através da eletricidade; Ganho de capacidade através do uso de novas metodologias; Escala de automação torna-se mais ampla conforme o tamanho do motor pode ser variado para se adequar a circunstâncias específicas.	Era do Controle Estatístico	Maximização da produção continua como foco primário; Inicia-se a criação de padrões mínimos de qualidade do que eram aceitáveis; A qualidade financeira era medida com base em refugo e retrabalho; A performance do trabalhador era usada para medir produtividade.
1940 - 2000	Indústria 3.0	A computação proporcionou um incremento de produtividade; A utilização de informações e tecnologia de comunicação impulsionou melhorias; Diminuição da participação humano no espaço de trabalho; Sistemas robóticos autônomos substituíram trabalhos manuais.	Era da Garantia da Qualidade	A qualidade se tornou algo imperativo no negócio; Atendimento aos requisitos do cliente foi enfatizado (Satisfação do Cliente); Busca pela melhoria contínua; Ganhos de produtividade, ocorre pela estabilização de processos altamente eficientes, padronização do trabalho e envolvimento de todos os trabalhadores nas atividades que geram qualidade; Atividades de padronização (ISO 9001) e certificação de avaliação de excelência empresarial.
2011 até o momento	Indústria 4.0	Sistemas ciberfísicos integrados que automatizam o ambiente de trabalho; Sistemas integrados de ponta a ponta; Trabalho humano voltado para estratégia e em funções que não podem ser automatizadas; Inteligência artificial.	Era da Gestão Estratégica da Qualidade	A digitalização é usada para otimizar o feedback e ajustar o processo. Além disso, a aprendizagem adaptativa suporta auto correções do sistema; Mudança no foco da qualidade de operadores do processo para os designers do processo; Máquinas aprendem como se auto-regular e gerenciar sua própria produtividade e qualidade; A ênfase muda da produção para o design do sistema e integração com o sistema de negócio.

Fonte: ASQ, 2021 (Adaptado)

2.3 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0

Neste tópico são abordados alguns exemplos reais em empresas sobre gerenciamento da qualidade baseado nas novas tecnologias da Indústria 4.0.

2.3.1 Rolls-Royce

O primeiro caso é da empresa Rolls-Royce que fabrica motores tanto para aviões quanto para navios. Esta empresa necessita que o processo ocorra sem falhas, pois erros podem custar milhões ou até mesmo vidas. Por isso, é uma empresa que investe em tecnologia e nesse cenário de Indústria 4.0, utiliza-se no seu processo o *Big Data* em três áreas principais (*design*, manufatura e pós venda), o que gera uma grande quantidade de dados. Os motores e sistemas de propulsão são equipados com sensores que registram e reportam diretamente ao engenheiro responsável em tempo real qualquer intercorrência e por meio da análise dos dados o engenheiro toma uma decisão mais assertiva e embasada. Além disso, a análise de *Big Data* auxilia a Rolls-Royce a identificar a necessidade de ações de manutenção com dias ou até mesmo semanas de antecedência, o que permite que as companhias aéreas possam programar a manutenção sem afetar os clientes (MARR, 2015).

Além disso, a Rolls-Royce apresenta um ambiente de produção conectado através da *Internet Of Things*, o qual permite uma inovação no sistema de esmagamento de metal, na medição automatizada e no controle de qualidade dos componentes (MARR, 2015).

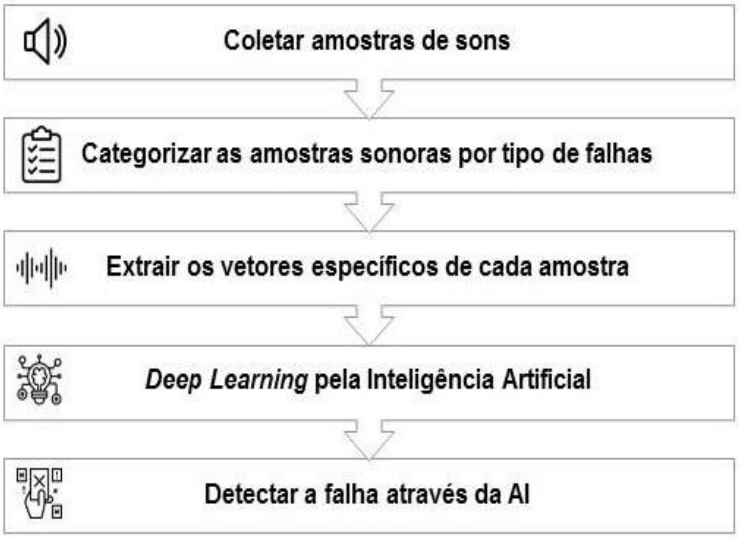
De acordo com a empresa, essas tecnologias implementadas no processo permitiram uma redução de custo, uma simplificação do processo produtivo, no qual as falhas puderam ser eliminadas de produtos futuros durante o processo de *design* (MARR, 2015). É importante ressaltar que a empresa acredita que a redução de custo seria decorrente da minimização das interrupções, uma vez que é possível monitorar e relatar as condições reais dos componentes do motor, bem como a redução nos custos de manutenção (RTINSIGHTS, 2016).

2.3.2 Hyundai Motor

A Hyundai Motor é uma multinacional sul-coreana de automóveis, sendo considerada em 2017 a oitava maior comerciante de carros do mundo (LEE; LEE; KIM, 2019). A Hyundai implementou a Inteligência Artificial na detecção e definição de possíveis falhas manifestadas por ruídos. Tal iniciativa foi influenciada pela habilidade observada em alguns mecânicos de

identificarem somente pelo som o problema no carro, então criou-se um sistema de detecção e diagnóstico de defeitos alimentado pela Inteligência Artificial. Isso é possível graças às propriedades do som, por exemplo, comprimento de onda e amplitude, e também uma grande disponibilidade de dados audíveis acerca dos ruídos e suas classificações. Para isso, foram coletados dados de situações em que os motores estavam com funcionamento normal e de motores que foram induzidos para algumas falhas específicas. A Inteligência Artificial utiliza-se do *deep learning*[1], o qual permite que a máquina aprenda com esses dados e reconheça padrões semelhantes entre eles, o processo realizado por essa IA foi exemplificado na Figura 6. Nesta iniciativa foram coletadas 830 amostras de som, as quais foram categorizadas em 18 tipos e 44 subtipos, com base no componente e na natureza da falha. Por exemplo, um ruído de pistão de tipo de falha comum, ainda pode ser classificado com ruído de anel de pistão ou ruído de fricção de pistão, dentre outras opções (Hyundai Motor Group, 2018).

Figura 6: Etapas da Inteligência Artificial Hyundai Motor



Fonte: Hyundai Motor Group, 2018 (Adaptado)

Para analisar a acuracidade dos dados foi feito um teste no qual comparou o diagnóstico realizado por humanos *versus* o diagnóstico obtido através da IA, o qual apresentou um resultado 10 vezes maior, conforme Figura 7. Outro ponto positivo observado foi a maior rapidez no processo de identificação da causa, de qual tipo de falha e qual componente, uma vez que anteriormente eram necessários exames completos com desmontagem do automóvel. Além disso, com a inteligência artificial é disponibilizado um diagnóstico em probabilidade de falhas devido às possíveis causas. Por último, é importante ressaltar que a precisão dos

[1] *Deep Learning* ou aprendizagem profunda consiste em um aprendizado de máquina, que através de algoritmos, imita o processo de aprendizagem do cérebro humano (SALESFORCE, 2018).

resultados até o momento é de 88% e a empresa pretende ultrapassar 90% de precisão (Hyundai Motor Group, 2018).

Figura 7: Comparativo do resultado humano versus inteligência artificial

Fonte: Hyundai Motor Group, 2018 (Adaptado)

2.3.3 Bosch

A Bosch é uma empresa que atua em diversos ramos, tais como com processos industriais, na área de energia, de equipamentos de construção, bens de consumo, eletrodomésticos e tecnologia automotiva. Ademais, é considerada uma das empresas líderes no mercado em tecnologias de manutenção preditiva e controle de qualidade (LEE; LEE; KIM, 2019).

A Bosch utiliza o *software Nexeed Production Performance Manager* que tem como intuito a otimização sustentável da produção, sendo responsável pelo monitoramento em tempo real, auxílio na tomada de decisão da gestão da manutenção e na qualidade. Este *software* permite a utilização de dados de produção de várias fontes e, com isso, pode personalizar as informações obtidas e disponibilizar diretamente para o usuário, além de que possibilita a aplicação de conhecimentos de produção automaticamente. Consequentemente, acontece a redução no tempo de resposta, diminuição de falhas, melhor atribuição de tarefas e disponibilidade de acesso destas tarefas. O *Nexeed Production Performance Manager* opera como solução autônoma, com integração a outros sistemas e permite um contato direto com os clientes. O *software* apresenta três módulos: monitoramento contínuo, análise de dados e manutenção preditiva (BOSCH, 2018).

Em relação ao módulo de monitoramento contínuo, utiliza como recurso um dos alicerces da Indústria 4.0 que são os dados. Com isso, o sistema registra estados de máquina através de medição de variáveis físicas, sendo esses dados obtidos por máquina e sensores. Estas informações podem ser visualizadas em qualquer terminal, o que torna possível o melhor monitoramento e otimização do sistema de produção, além de que possibilita tomadas de decisões rapidamente e em curto prazo. O usuário tem acesso a análises cronológicas, tais como

falhas por frequência, o que permite identificar as falhas e gargalos que ocorrem regularmente (BOSCH, 2018).

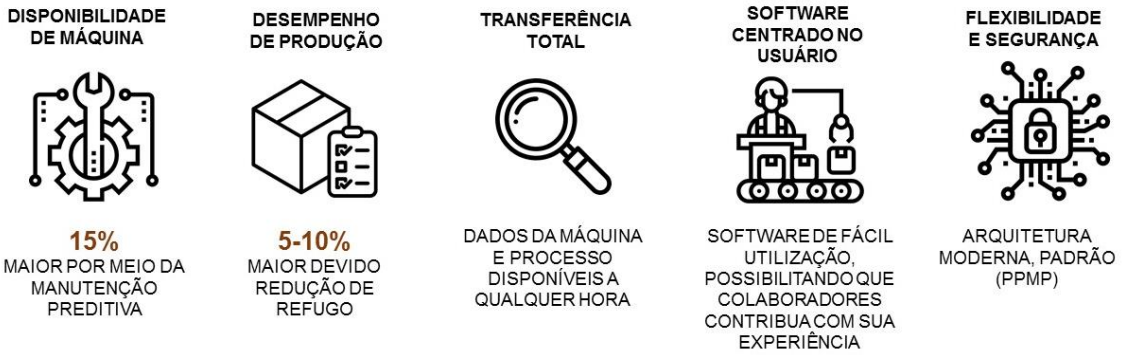
Já o módulo análise de dados proporciona uma diminuição de falhas produtivas e desvios, tornando a produção quase livre de erros e altamente eficiente. Então, esse módulo exibe os parâmetros produtivos e suas tolerâncias, logo, possibilita que qualquer distorção do resultado seja rapidamente corrigida. Outro ponto interessante desse módulo é a análise de falhas e tendências, assim é possível isolar as causas precocemente e em alguns casos até mesmo antes de que ocorra (BOSCH, 2018).

Por último, no módulo de manutenção preditiva, é possível prever as falhas e agir para que elas não se concretizem, visto que a fábrica é, atualmente, amplamente conectada. O *Neexed Production Performance Manager* monitora os parâmetros do processo produtivo e quando os resultados são apresentados fora do limite ou quando tem uma tendência excedida os técnicos de manutenção são avisados espontaneamente, e a escolha do técnico é definida de acordo com a qualificação deste colaborador no problema apresentado. Esse cenário reduz o tempo de inatividade da máquina e disponibiliza o colaborador mais adequado para solução do problema em específico (BOSCH, 2018).

O *software* também pode melhorar a qualidade do produto, uma vez que monitora e registra continuamente os dados do processo e de manutenção. Ademais, a empresa é capaz de manter a gestão da qualidade por meio da manutenção preditiva baseada no uso *big data*, sensores inteligentes, plataformas digitais e inteligência artificial (LEE; LEE; KIM, 2019).

Os resultados da utilização deste software podem ser observados na Figura 8.

Figura 8: Resultados da implementação do *Neexed Production Performance Manager*



Fonte: Bosch, 2018 (Adaptado)

3. GESTÃO DA QUALIDADE NA ERA DA INDÚSTRIA 4.0

Este capítulo aborda as alterações que estão ocorrendo na área de Gestão da Qualidade com o advento da Indústria 4.0. Por meio de um estudo literário e análise de casos reais buscou-se apresentar os impactos que a utilização das tecnologias desta nova revolução causam na gestão da qualidade.

3.1 MÉTODO DE PESQUISA

A pesquisa utiliza-se do conceito de revisão bibliográfica sistemática, o qual consiste no mapeamento de trabalhos publicados em um tema de pesquisa específico para que o pesquisador possa obter uma síntese do conhecimento existente sobre o assunto definido (BIOLCHINI *et al.*, 2007).

A base de dados utilizada foi o Periódicos Capes e as palavras chaves "*Smart Quality Management*" e "*Quality 4.0*", sendo o critério da primeira palavra contê-la e da segunda pesquisa exata. Os filtros definidos foram em relação ao período de janeiro de 2011 até o momento da pesquisa, sendo esta realizada no dia 15 de dezembro de 2020, bem como foi filtrado por periódicos revisados por pares. A pesquisa originou 12 artigos os quais foram estudados em sua totalidade para elaboração deste trabalho, além disso, algumas referências bibliográficas destes artigos foram também analisadas.

3.2 AVANÇOS ESPERADOS NA GESTÃO DA QUALIDADE

Umas das áreas que vem sofrendo impacto com a Indústria 4.0 é a gestão da qualidade, uma vez que a gestão tradicional deverá incorporar as tecnologias da Indústria 4.0 para obter produtos e serviços de alta qualidade. Então, a qualidade 4.0 é a digitalização da qualidade de *design*[2], qualidade de conformidade[3] e qualidade de desempenho[4] por meio do uso das tecnologias modernas, permitindo melhorias em toda cadeia de valor (SONY; ANTONY; DOUGLAS, 2020). De acordo com o estudo do Tortorella, Silva e Vargas (2018) a adoção de

[2] Qualidade de design: definida como a percepção de qualidade através do design (SONY; ANTONY; DOUGLAS, 2020).

[3] Qualidade de conformidade: consiste no atendimento aos requisitos necessários (SONY; ANTONY; DOUGLAS, 2020).

[4] Qualidade de desempenho: relaciona qualidade com o comportamento adequado do produto ou serviço, ou seja, com o desempenho do mesmo (SONY; ANTONY; DOUGLAS, 2020).

tecnologias da Indústria 4.0 é associada positivamente com a implementação de *Total Quality Management* (TQM). Então este trabalho irá expor os impactos esperados pela Qualidade 4.0 de acordo com princípios da TQM, baseados na ISO 9001:2015.

A integração dos sistemas na indústria 4.0 possibilita uma maior comunicação e resposta, praticamente instantânea, do mercado aos produtos ofertados, ou seja, a comunicação com cliente é eficaz e constante, a qual faz com que o sistema de produção responda àquilo que o mercado exige (SADER; HUSTI; DAROCZI, 2019). Essa integração de sistemas juntamente com o *Big Data* permite uma melhor compreensão das necessidades dos clientes, uma vez que quase todas as necessidades são mapeadas e analisadas por essa tecnologia. Essas informações podem ser utilizadas na qualidade do *design*, bem como na definição dos atributos básicos, atributos de desempenho e na definição do modelo (SONY; ANTONY; DOUGLAS, 2020). Isso possibilita uma maior satisfação dos clientes, uma vez que permite aos responsáveis na empresa compreender com veracidade e mais facilmente os requisitos dos clientes, bem como atender aos mesmos, além de possibilitar que produtos personalizados sejam entregues. As tecnologias podem fornecer para as empresas previsões antecipadas de comportamento e tendências de consumo, ou seja, com esses dados a empresa poderá ofertar produtos adequados no momento adequado (SADER; HUSTI; MIKLOS, 2017). Alguns indicadores que são afetados neste cenário são a redução no tempo de entrega do produto, aumento da capacidade de resposta e a já comentada aumento de satisfação do cliente (SADER; HUSTI; DAROCZI, 2019). Então, percebe-se que o contexto da indústria 4.0 apresenta ferramentas que possibilitam um maior foco no cliente.

Com relação ao princípio de liderança, o qual se propõe a envolver os colaboradores em prol de um mesmo propósito, com intuito de atingir os objetivos da qualidade da empresa (ISO, 2015), o cenário da indústria 4.0 utiliza-se de integrações verticais, horizontais, de ponta a ponta, sistemas de gerenciamento, *Big Data*, sendo que tais tecnologias melhoram a coordenação e colaboração entre diferentes níveis, o que possibilita melhores resultados de qualidade (DARÓCZI; HUSTI; SADER, 2019). Além disso, a nova revolução tem um grande fluxo de informações sobre a linha de produção, integrando os processos de negócios e apoiando os sistemas ERP (LEE; KAO; YANG, 2014 *apud* SADER; HUSTI; MIKLOS, 2017). Com isso, o processo produtivo é mais transparente, alinhando os recursos com a mão de obra, o que permite uma demanda mais otimizada e uma avaliação mais eficaz (SADER; HUSTI; MIKLOS, 2017). Outro ponto interessante de ser destacado é a possibilidade do apoio da alta administração na concepção de novos serviços e produtos, o qual é facilitado pela base de dados de uso de produtos, obtidas através de *Big Data* (SONY; ANTONY; DOUGLAS, 2020).

As novas tecnologias influenciam o engajamento dos colaboradores em suas atividades uma vez que permitem a comunicação e colaboração de todos dentro da organização, assim estimulando um ambiente de inovação e de contribuições individuais e em equipe, além de facilitar o compartilhamento de ideias (SADER; HUSTI; MIKLOS, 2017). Ademais, os modelos de simulação podem ser utilizados para treinamentos referentes à fabricação, operação e manutenção dos produtos, contribuindo para envolver a equipe (ZONNENSHAIN; KENETT, 2020). Os sistemas de inteligência artificial e realidade aumentada podem ser utilizados na melhoria da experiência dos funcionários nas áreas de controle e gestão da qualidade, resultando em um melhor ambiente de trabalho e em um aumento de rendimento (BRETSCHNEIDER; PARKER, 2016 *apud* SONY; ANTONY; DOUGLAS, 2020).

Sabe-se que uma das grandes características da indústria 4.0 é a abrangência de dados, a qual possibilita decisões mais assertivas e embasadas em evidências (SACOMANO *et al.*, 2018). Essa nova revolução apresenta-se orientada a disponibilidade e compartilhamento destes dados (ZONNENSHAIN; KENETT, 2020). Na indústria 4.0 as informações são precisas em relação a tempo, riscos, recursos disponíveis e necessários, bem como quanto a restrições do sistema (SADER; HUSTI; MIKLOS, 2017). Estes dados apresentam um fluxo de informação de forma transparente e em tempo real de máquinas, instalações, funcionários na cadeia produtiva, os quais permitem uma tomada de decisão mais eficaz, confiável e rápida, bem como apresenta um sistema mais flexível e com interconexão entre todas as partes, o que permite uma ampla visão sobre aquele produto ou serviço, e sobre o panorama da produção naquele momento (SADER; HUSTI; DAROCZI, 2019). Tal perspectiva demonstra a importância da *Big Data* na disponibilização dos dados para análises probabilísticas que apoiam a alta administração em suas decisões estratégicas e auxilia o processo de liderança (TAMÁS, 2016 *apud* TORTORELLA; SILVA; VARGAS, 2018). Além disso, a indústria 4.0 traz uma otimização de processos, melhoria de eficiência, de alocação de recursos, melhoria no rastreamento de gargalos, melhoria na investigação das fontes de defeitos e na minimização dos custos de produção, isso é possível graças a *Big Data Analytics* e que influencia em estratégias mais assertiva para a empresa (WANG; HE; XU, 2017 *apud* SADER; HUSTI; MIKLOS, 2017).

Outro ponto extremamente importante para as empresas nos dias atuais é a relação com toda a sua rede de relacionamentos, como clientes, colaboradores, fornecedores. A integração de sistemas permite que clientes e fornecedores atuem como uma unidade integrada à unidade de negócio. O fluxo de informação entre o cliente final e o fornecedor ocorre sem interferência, pedidos de clientes são transferidos instantaneamente, o que permite que os clientes monitorem os seus pedidos e adicionem personalizações. Além disso, essa cooperação

ocorre também entre diferentes departamentos em uma empresa, o que resulta em um ambiente de trabalho mais dinâmico e eficaz (SADER; HUSTI; DAROCZI, 2019). As tecnologias de *Cyber- Physical Systems*, *Internet Of Things* e *Cloud Computing* podem ser usadas para projetar algoritmos que realizam o controle de qualidade da matéria prima até o produto acabado, assim integrando todo o ciclo de vida do produto (SONY; ANTONY; DOUGLAS, 2020). Esse contexto possibilita uma identificação de necessidades e comunicação antecipadas, segmentação de partes interessadas e maior colaboração com os parceiros (SISODIA; FORERO, 2020).

Em relação a melhoria contínua, a indústria 4.0 disponibiliza ferramentas efetivas na melhoria do produto e do processo, com isso o desempenho e a capacidade do sistema se aprimoram por meio da conexão da cadeia produtiva e da cadeia de abastecimento (SADER; HUSTI; MIKLOS, 2017). As *smarts manufacturing* terão uma detecção inteligente de falhas e fornecem previsões antecipadas de possíveis problemas, o que influencia positivamente o processo de melhoria contínua e permite uma manutenção preventiva antes do problema se concretizar (DARÓCZI; HUSTI; SADER, 2019), Além de que essa detecção ajuda os líderes a antecipar melhorias de desempenho, identificar corretamente a causa raiz, priorizar decisões e reduzir investimentos desnecessários (TORTORELLA; SILVA; VARGAS, 2018). O ambiente de inovação proporcionado pela indústria 4.0 é favorável à mudança, logo, é mais facilmente voltada à melhoria (SONY; ANTONY; DOUGLAS, 2020). Uma tecnologia que favorece esse processo de mudança é a *Big Data* que obtém dados de diversas origens (sensores, redes sociais, mídias). Esses dados podem ser usados para aprimorar a qualidade, como por exemplo, o histórico sobre o comportamento do cliente que pode ser utilizado para adequar a demanda e a produção (SADER; HUSTI; DAROCZI, 2019), bem como possibilita uma interação mais dinâmica com as necessidades do mercado e a partir disso reconfigurar o processo de fabricação (SONY; ANTONY; DOUGLAS, 2020). Além disso, uma grande base de dados permite o desenvolvimento de modelos de inteligência artificial contribuindo para que as máquinas tenham autonomia de tomar decisões em chão de fábrica (SADER; HUSTI; DAROCZI, 2019). Ademais, a área de Pesquisa & Desenvolvimento se beneficiará com o uso da manufatura aditiva na produção de protótipos, modelagem e simulação inteligente. Então, com esses protótipos será possível testar o produto em diferentes situações para validar a qualidade do mesmo, e posteriormente testar o processo produtivo e os sistemas para assim entregar um produto de qualidade com um processo eficiente (ZONNENSHAIN; KENETT, 2020).

Com relação ao princípio de abordagem de processo, a *Big Data Analytcs* será capaz de analisar os dados e tomar decisões adequadas com o momento para evitar defeitos, falhas de

sistema ou tempo de inatividade. Com isso, a produção é otimizada com técnicas de manufatura enxuta e gerenciamento de cadeia de suprimentos. O sistema de produção pode se comunicar com o *Enterprise Resource Planning* (*ERP*) e CPS para analisar os esquemas de produção, definir prioridades e alinhar recursos. A inspeção em tempo real da qualidade garantirá que os requisitos de qualidade sejam atendidos e que as causas de defeitos ou falhas de produção sejam evitadas e eliminadas (SADER; HUSTI; DAROCZI, 2019).

Após compreender os avanços na gestão da qualidade com a indústria 4.0, é interessante identificar as principais diferenças entre a fábrica tradicional e a *smart factory*, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2: Comparação fábrica tradicional e *smart factory*

	Arquitetura de sistema integrada	**Processamento de dados automatizados**	**Alto nível de autonomia**	**Análise preditiva**
Smart	Padrão que seja totalmente integrado	Automatização em larga escala, de acordo com a necessidade do usuário	Processos altamente autônomos	Com foco na prevenção de defeitos, de valores fora da especificação e sem controle
Tradicional	Dados relacionados à qualidade podem estar em sistemas separados, não totalmente integrado entre eles. Com isso, apresenta um fluxo de informações mais complexo	Coleta de dados e entrada pode ser manual	Intervenção do operador pode ser necessário para realizar um plano de ação	Análise e ações são reativos e baseado em planos de ação

Fonte: Sisodia e Forero, 2020 (Adaptado)

Por último, a Tabela 3 apresenta a relação entre os princípios da qualidade e um resumo dos principais avanços esperados com a Indústria 4.0.

Tabela 3: Princípios do TQM e oportunidades com a Indústria 4.0

TQM Princípios	**Oportunidades da Indústria 4.0**	**Tecnologias**
Foco no cliente	Maior capacidade de resposta, personalização, previsão inteligente	Manufatura aditiva, *big data, internet of things*
Liderança	Alocação inteligente de recursos, coordenação aprimorada, avaliação eficaz	*Big data* , integração de sistemas, *cloud computing*.
Engajamento da pessoas	Comunicação e colaboração aprimoradas, facilitando a inovação e o compartilhamento de ideias	Realidade aumentada, *internet of things* , *Cyber-Physical Systems* .
Abordagem de Processos	Transparência, autoaprendizagem e previsão antecipada de erros, menor tempo de inatividade	*Cyber-Physical Systems, big data* , inteligência artificial, realidade aumentada, c*loud computing*
Melhoria Contínua	Interação dinâmica com as necessidades do mercado, reconfiguração instantânea de processos de fabricação	Manufatura aditiva, inteligência artificial, *big data, internet of things*
Decisão baseada em evidência	Informações e análises abrangentes, previsão de falha antecipada, tomada de decisão antecipada	*Big data, Internet of things, Cyber-Physical Systems* , inteligência artificial.
Gestão de relacionamentos	Identificação e comunicação antecipada, segmentação de partes interessadas, mais forte colaboração com parceiros.	Integração de sistemas, *big data, cloud computing*

Fonte: Sisodia e Forero, 2020 (Adaptado)

4. PESQUISA SOBRE O IMPACTO DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NA GESTÃO DA QUALIDADE

Neste capítulo é abordado como a pesquisa com colaboradores de empresas acerca dos impactos das novas tecnologias na gestão da qualidade foi elaborada, bem como é demonstrado a análise deste questionário. Esses colaboradores ou eram da área de qualidade ou tinham conhecimento desta.

4.1 ELABORAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

O questionário foi dividido em duas partes: perguntas a respeito da área de atuação e perguntas sobre as tecnologias da Indústria 4.0 e Gestão da Qualidade.

A primeira parte do questionário teve como propósito identificar o tamanho da empresa e ramo de atuação conforme critérios de classificação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Além disso, foi perguntado qual o cargo do participante da pesquisa e se esse atuava diretamente na área de qualidade. Nos casos em que o participante não era da área de qualidade, o mesmo era encaminhado para uma outra pergunta ("Você acredita que é possível responder questões sobre indústria 4.0 e sua relação com gestão da qualidade?") na qual deveria informar se tinha conhecimento para responder o questionário. Em casos afirmativos, o questionário abriria a segunda parte de questões. Caso o participante não atuasse na área de qualidade e considerasse não ter conhecimento acerca da relação da gestão da qualidade com a indústria 4.0, o questionário era encerrado para ele, ou seja, o mesmo não participava da pesquisa. Essa validação foi importante para certificar que a pessoa tinha conhecimento para responder as questões e assim ter respostas próximas a realidade das empresas, visto que o questionário necessitava de conhecimentos específicos.

Em relação à segunda parte, iniciou-se com um breve resumo sobre as tecnologias da indústria 4.0 e o que consistia essa nova revolução. Posteriormente, apresentou uma questão para validar o nível de conhecimento nesta área, possibilitando a marcação numa escala de 0 a 5, sendo 0 nenhum conhecimento e 5 muito conhecimento. Ademais, foi necessário sinalizar quais tecnologias emergentes já são utilizadas pela empresa do participante. Após foi apresentado uma matriz de correlação entre os impactos na gestão da qualidade *versus* tecnologias, bem como uma questão na qual o respondente deveria classificar cada um dos impactos em cinco níveis de atuação, desde de "Nenhum Impacto" até "Muito Impacto". Os impactos listados nesta matriz foram obtidos por meio do estudo bibliográfico já apresentado

neste trabalho. Também foi solicitado que elencasse as três tecnologias que os participantes acreditassem que mais implicações proporcionam na gestão da qualidade. Por fim, a última pergunta apresentou um campo texto para que os respondentes inserissem sua opinião do tema e também pontos importantes na visão deles que não foram abordados na pesquisa.

O questionário elaborado e aplicado nessa pesquisa pode ser visualizado no Apêndice 1.

4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA PESQUISA

O questionário foi aplicado de forma *online* através do Google Forms, no período de 21 de janeiro de 2021 até 15 de fevereiro de 2021. Foi solicitado que os respondentes da pesquisa classificassem os impactos de acordo com o que eles já visualizavam como avanço, mas também em relação às modificações futuras. Para responder o questionário era necessário atuar na área de qualidade, para aqueles que não atuavam nesta área foi realizada uma pergunta de validação, a qual tinha o objetivo de verificar se o participante tinha conhecimento sobre a relação entre gestão da qualidade e indústria 4.0, em caso afirmativo o participante pôde responder a pesquisa, em caso negativo o formulário era encerrado. Ou seja, todos os participantes tinham conhecimento acerca da gestão da qualidade e da indústria 4.0, então estavam aptos a responder a pesquisa.

O *software* utilizado para análise dos dados foi o Power Bi da Microsoft. Para análise de dados foram desconsideradas as três primeiras respostas, pois o questionário teve uma modificação após estas respostas. Com isso, foram avaliadas as respostas de 36 respondentes obtidas no questionário. O resumo das respostas pode ser observado na tabela 4 e 5, posteriormente serão apresentados os resultados graficamente.

Tabela 4: Resumo das respostas seção 1 do questionário

Seção 01: Compreendendo sua área de atuação	
01) Segundo a classificação do IBGE, qual ramo da sua empresa?	**Quantidade**
Indústrias extrativas	1
Indústrias de transformação	10
Eletricidade e gás	0
Água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	0
Construção	0
Comércio; reparação de veículos automotores e motocicletas	0
Transporte, armazenagem e correio	1
Alojamento e alimentação	0
Informação e comunicação	5
Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	0
Atividades imobiliárias	0
Atividades profissionais, científicas e técnicas	5
Atividades administrativas e serviços complementares	2
Administração pública, defesa e seguridade social	0

Educação	3
Saúde humana e serviços sociais	3
Artes, cultura, esporte e recreação	0
Outras atividades de serviços	5
Serviços domésticos	0
Organismos internacionais e outras instituições extraterritoriais	1
02) Segundo a classificação do IBGE, qual o tamanho da empresa em que você trabalha?	
Micro (até 19 empregados)	4
Pequena (20 a 99 empregados)	3
Média (100 a 499 empregados)	3
Grande (mais de 500 empregados)	26
03) Qual o seu cargo na empresa?	
Estagiário	2
Analista	17
Supervisor/Coordenador	4
Gestor/Gerente	7
Diretor	0
Outros	6
04) Você trabalha na área de qualidade da empresa?	
Sim	13
Não	23
05) Caso a resposta anterior seja negativa, o participante teve que responder à seguinte questão: Você acredita que é possível responder questões sobre Indústria 4.0 e sua relação com gestão da qualidade?	
Sim	23
Não (*Se respondesse não, o questionário era encerrado)	0

Fonte: Autora

Tabela 5: Resumo das respostas seção 2 do questionário

Seção 02: Tecnologias da indústria 4.0 e Gestão da Qualidade								
Qual nível de conhecimento você considera ter sobre as tecnologias da indústria 4.0?						**Quantidade**		
(0) Nenhum conhecimento						0		
(1) Conhecimento mínimo						0		
(2) Pouco conhecimento						5		
(3) Conhecimento						19		
(4) Conhecimento razoável						12		
(5) Muito conhecimento						0		
Marque as tecnologias utilizadas pela sua empresa								
Realidade Aumentada						4		
Big Data						20		
Inteligência Artificial						10		
Cyber-Physical Systems						3		
Manufatura Aditiva						3		
Internet Of Things						12		
Cloud Computing						23		
Não sei/ Não utilizo						5		
Outros						0		
Matriz de relação entre as tecnologias da indústria 4.0 e os seus possíveis impactos na área de Gestão da Qualidade.								
Tecnologias	Big Data	Cloud Computing	CPS	Inteligência Artificial	IoT	Manufatura Aditiva	Não sei/ Não identifico	Realidade Aumentada
Rastreabilidade	33	23	12	12	18	9	3	7
Transparência	32	26	8	14	19	5	4	6
Maior assertividade	29	22	12	19	19	7	8	11
Melhor alocação de recursos	28	23	8	25	19	11	6	9

Gestão de relacionamentos	25	19	6	14	20	5	8	9
Aumento eficiência	24	22	13	25	20	20	4	16
Redução de falhas	24	21	11	28	16	20	4	17
Aumento de satisfação do cliente	23	15	12	17	23	15	5	19
Compartilhamento de ideias	21	20	9	12	22	14	7	21
Previsão antecipada	21	22	13	23	19	10	8	14
Redução retrabalho	21	19	9	31	17	15	4	17
Redução custos de manutenção	20	18	17	23	16	18	3	19
Redução variabilidade	20	16	16	27	12	18	8	7
Menor tempo de inatividade	15	16	14	23	17	12	8	12
Reconfiguração/ adaptação instantânea	11	20	19	19	17	18	7	16
Personalização	8	9	14	14	18	19	19	21

Qual nível de impacto você acredita que será observado com a implementação das novas tecnologias nos itens abaixo ? (O participante só podia marcar um nível por cada impacto)

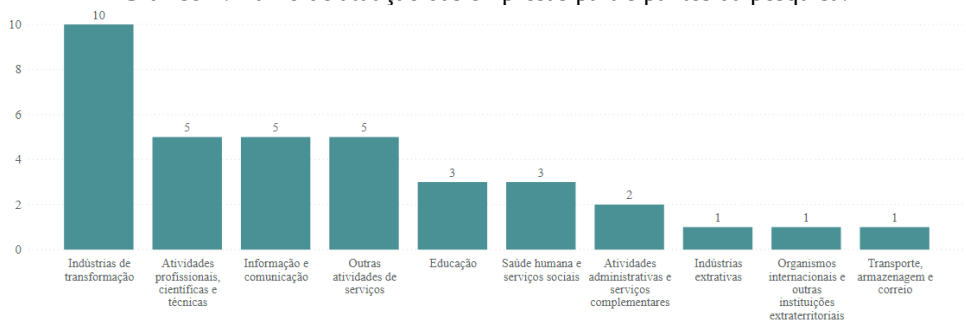
Impactos/ Tecnologias	Muito Impacto	Impacto Razoável	Impacto	Pouco Impacto	Nenhum Impacto
Redução de falhas	23	6	7	0	0
Aumento de eficiência	29	4	3	0	0
Redução na variabilidade produtiva	18	10	6	2	0
Redução de retrabalho	17	14	5	0	0
Rastreabilidade	17	12	3	4	0
Transparência de dados	23	5	4	4	0
Aumento de satisfação do cliente	16	10	7	2	1
Redução de custo de manutenção	17	10	4	4	1
Reconfiguração/ Adaptação instantânea de processos de fabricação	19	8	7	2	0
Maior assertividade na tomada de decisão	23	5	6	2	0
Previsão antecipada de erros	20	10	5	1	0
Menor tempo de inatividade	18	9	5	4	0
Melhor gestão da rede de relacionamento	14	9	9	4	0
Alocação inteligente de recursos	24	5	5	2	0
Personalização	15	9	8	3	1
Compartilhamento de ideias	17	10	5	4	0

Marque em ordem crescente de importância as três tecnologias que você acredita que mais impactarão o desempenho da Gestão da Qualidade? (Observação: 1 equivale a tecnologia que você acredita que mais impactará)								
Classificação/ Tecnologia	Big Data	Cloud Computing	CPS	Inteligência Artificial	IoT	Manufatura Aditiva	Não sei/ Não identifico	Realidade Aumentada
1	16	4	1	11	2	0	0	2
2	9	10	1	9	3	1	0	3
3	3	7	2	9	8	5	0	2

Fonte: Autora

A primeira questão: “Segundo a classificação do IBGE, qual ramo de atuação da sua empresa?”, obteve-se que 27,78 % dos respondentes atuavam na indústria de transformação, 13,98% em atividades profissionais, científicas e técnicas, 13,98% na área de informação e comunicação e as demais classificações podem ser observada no Gráfico 1.

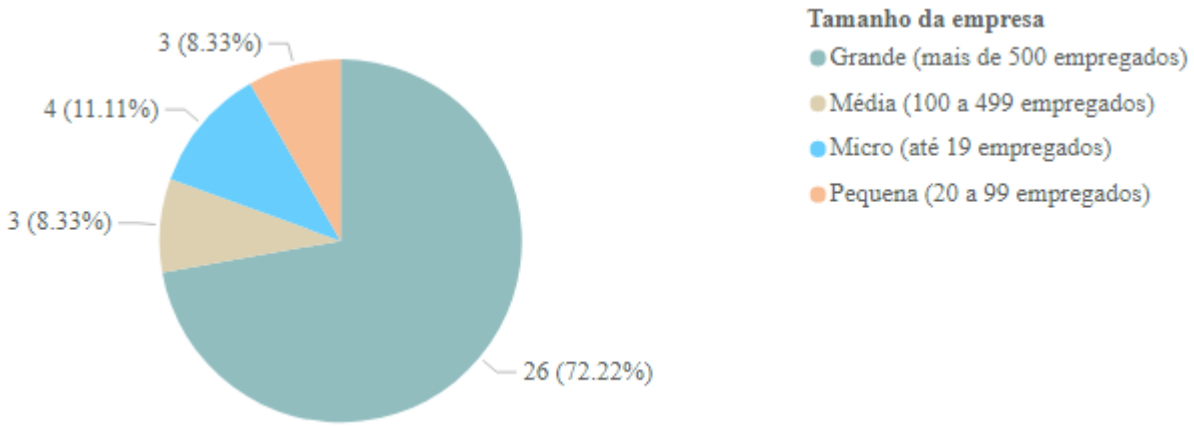
Gráfico 1: Ramo de atuação das empresas participantes da pesquisa.



Fonte: Autora

A segunda questão: “Segundo a classificação do IBGE, qual o tamanho da empresa em que você trabalha?”, os participantes estavam distribuídos nos quatro critérios de classificação, sendo que a maior parte pertence a grandes empresas (mais de 500 empregados) representando 72,22%. O resultado para os demais critérios pode ser observado no Gráfico 2.

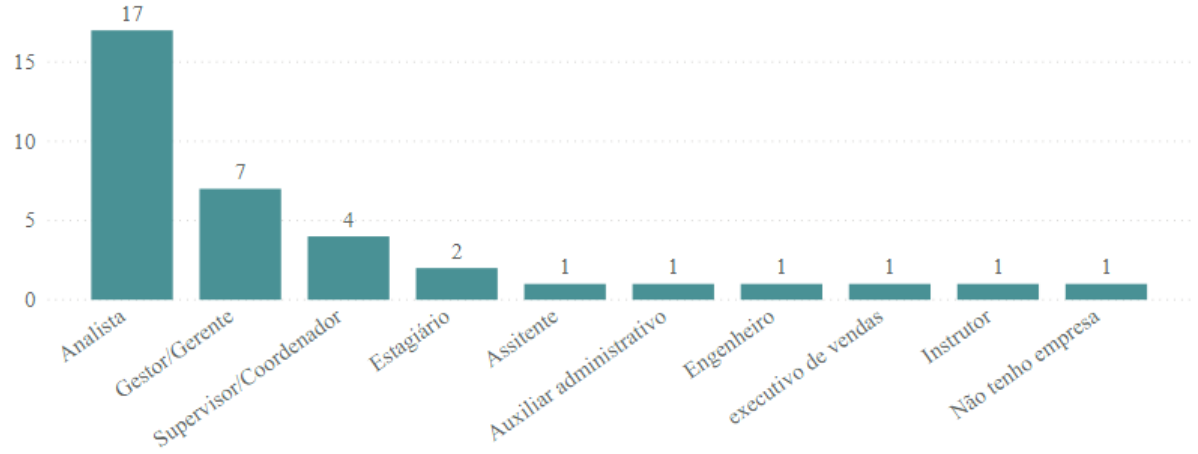
Gráfico 2: Tamanho das empresas participantes da pesquisa.



Fonte: Autora

A terceira questão: “Qual o seu cargo na empresa?”, apresentava algumas opções pré definidas e também um campo aberto caso o cargo não estivesse presente nas opções. Dentre as opções, 17 respondentes (47,22%) marcaram a opção analistas, 7 gestores/gerentes (19,4%) e as demais classificação estão no Gráfico 3.

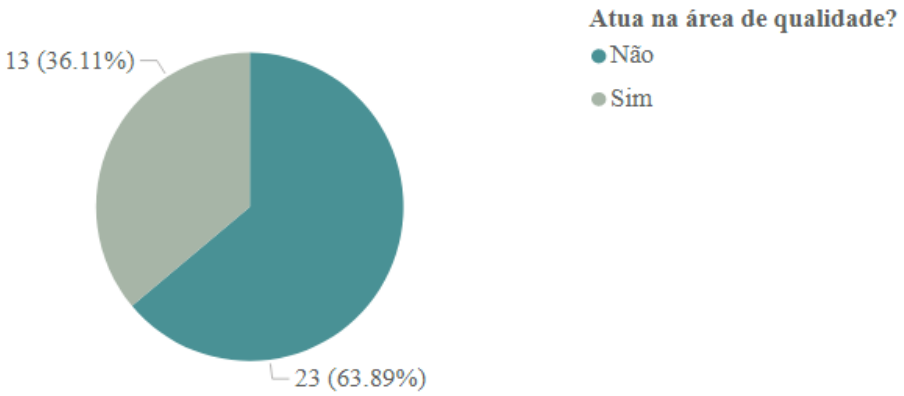
Gráfico 3: Cargo na empresa dos participantes da pesquisa



Fonte: Autora

A quarta questão: “Você trabalha na área de qualidade da empresa?”, com essa pergunta foi possível concluir que somente 13 participantes (36,11%) atuam na área de qualidade, dos que não atuam diretamente com gestão da qualidade 100% se eram aptos para responder a pesquisa, uma vez que consideraram ter conhecimentos acerca da relação da gestão da qualidade com a indústria 4.0. A relação entre respondentes que trabalham na área da qualidade e os que não trabalham pode ser observada no Gráfico 4.

Gráfico 4: Relação de participantes que atuam na área de qualidade.

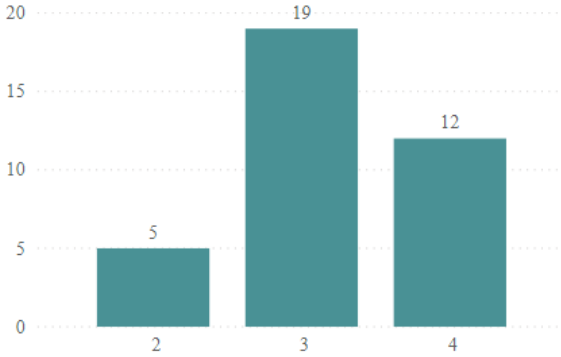


Fonte: Autora

A quinta questão: “Qual nível de conhecimento você considera ter sobre as tecnologias da indústria 4.0?”, estavam disponíveis em uma escala de 0 a 5 para definir o nível de conhecimento, as opções 0 nenhum conhecimento, 1 conhecimento mínimo, e 5 muito

conhecimento, não obtiveram respostas, ou seja, as respostas concentraram-se nos níveis 2 pouco conhecimento, 3 conhecimento e 4 conhecimento razoável, conforme Gráfico 5.

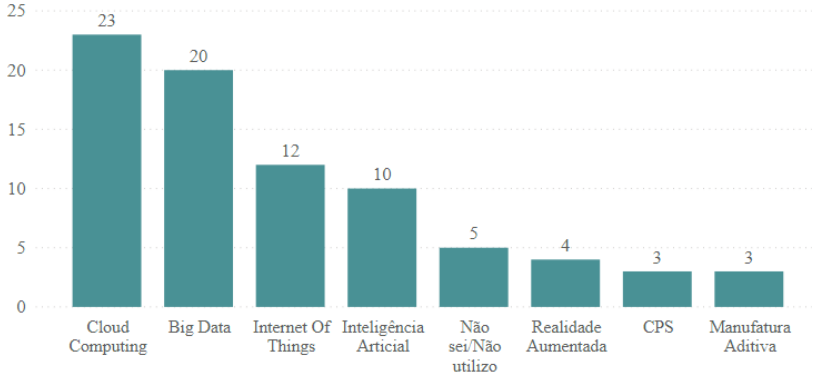
Gráfico 5: Nível de conhecimento acerca das tecnologias da indústria 4.0



Fonte: Autora

A sexta questão: "Marque as tecnologias utilizadas pela sua empresa", dentre as opções constavam: Realidade Aumentada, *Big Data*, Inteligência Artificial, *Cyber-Physical Systems*, Manufatura Aditiva, *Internet Of Things*, *Cloud Computing*, Não sei/ Não utilizo. Nesta pergunta se destaca o fato que 5 participantes marcaram que não sabiam ou não utilizavam tais tecnologias, o que representa 13,88% das respostas. Além disso, as tecnologias mais utilizadas foram *Cloud Computing* com 63,3% e *Big Data* 55,55%. As demais tecnologias podem ser observadas no Gráfico 6. Um ponto interessante de destacar nesta resposta é que a tecnologia *Cloud Computing* se mostrou como a mais utilizada pelas empresas, o que também foi constatado na pesquisa do CNI em 2020.

Gráfico 6: Relação de tecnologias utilizadas pelas empresas participantes



Fonte: Autora

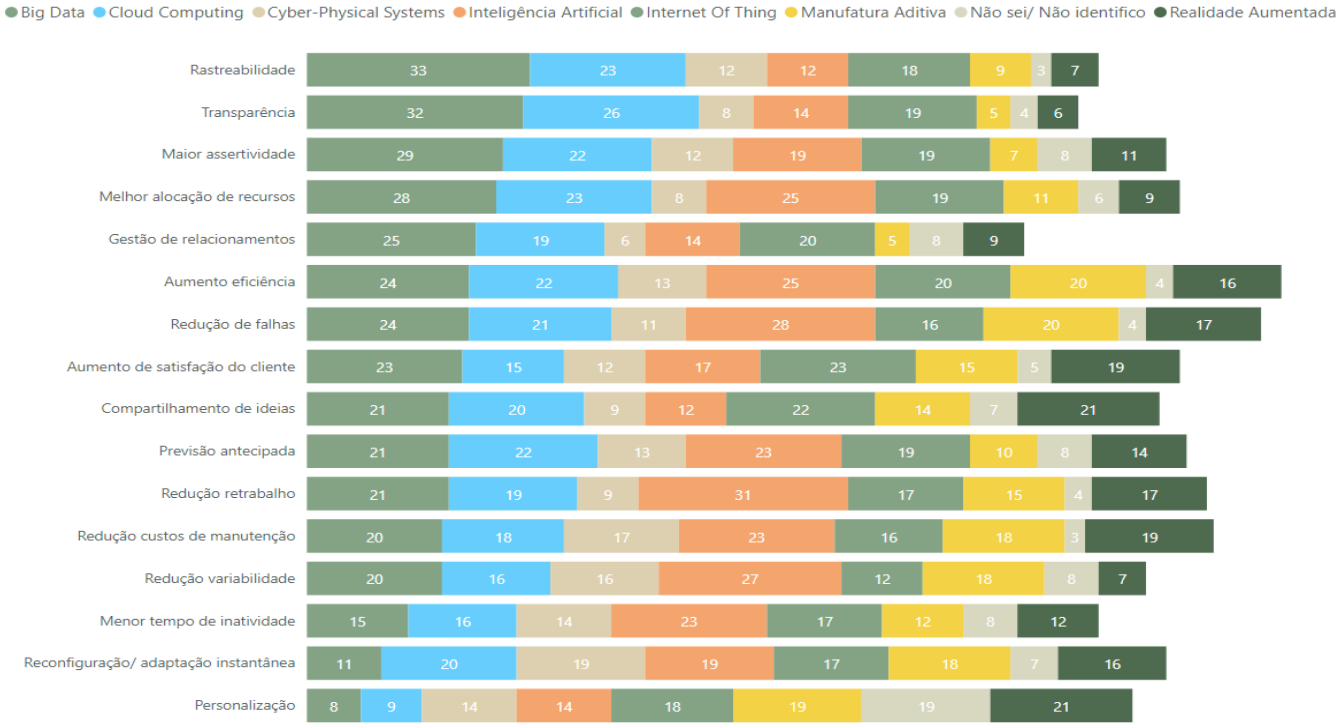
As duas próximas questões (sétima e oitava) correspondem à matriz de correlação entre os impactos para a gestão da qualidade e as tecnologias, conforme pode ser observado no apêndice 01. Percebe-se que o maior impacto observado na pesquisa para a tecnologia *Big Data* é a rastreabilidade, para *Cloud Computing* é a transparência, para *Cyber-Physical Systems* é

reconfiguração/adaptação instantânea, para inteligência artificial é redução de retrabalho, para *Internet of Things* é aumento da satisfação do cliente, para manufatura aditiva dois impactos apresentaram o mesmo valor que foram aumento de eficiência e redução de falhas e para a realidade aumentada também houve um empate entre dois impactos sendo eles personalização e compartilhamento de ideias. O Gráfico 7, apresenta os resultados dos impactos versus as tecnologias de acordo com os respondentes.

A nona questão: "Qual nível de impacto você acredita que será observado com a implementação das novas tecnologias nos itens abaixo?". Nesta pergunta os participantes tiveram que classificar os impactos na gestão da qualidade em cinco níveis, desde "Nenhum impacto" até "Muito impacto". Os dois impactos que foram classificados pela maior parte dos participantes como "Muito impacto" são aumento de eficiência e alocação inteligente de recursos. A classificação para os demais impactos pode ser observada no Gráfico 8.

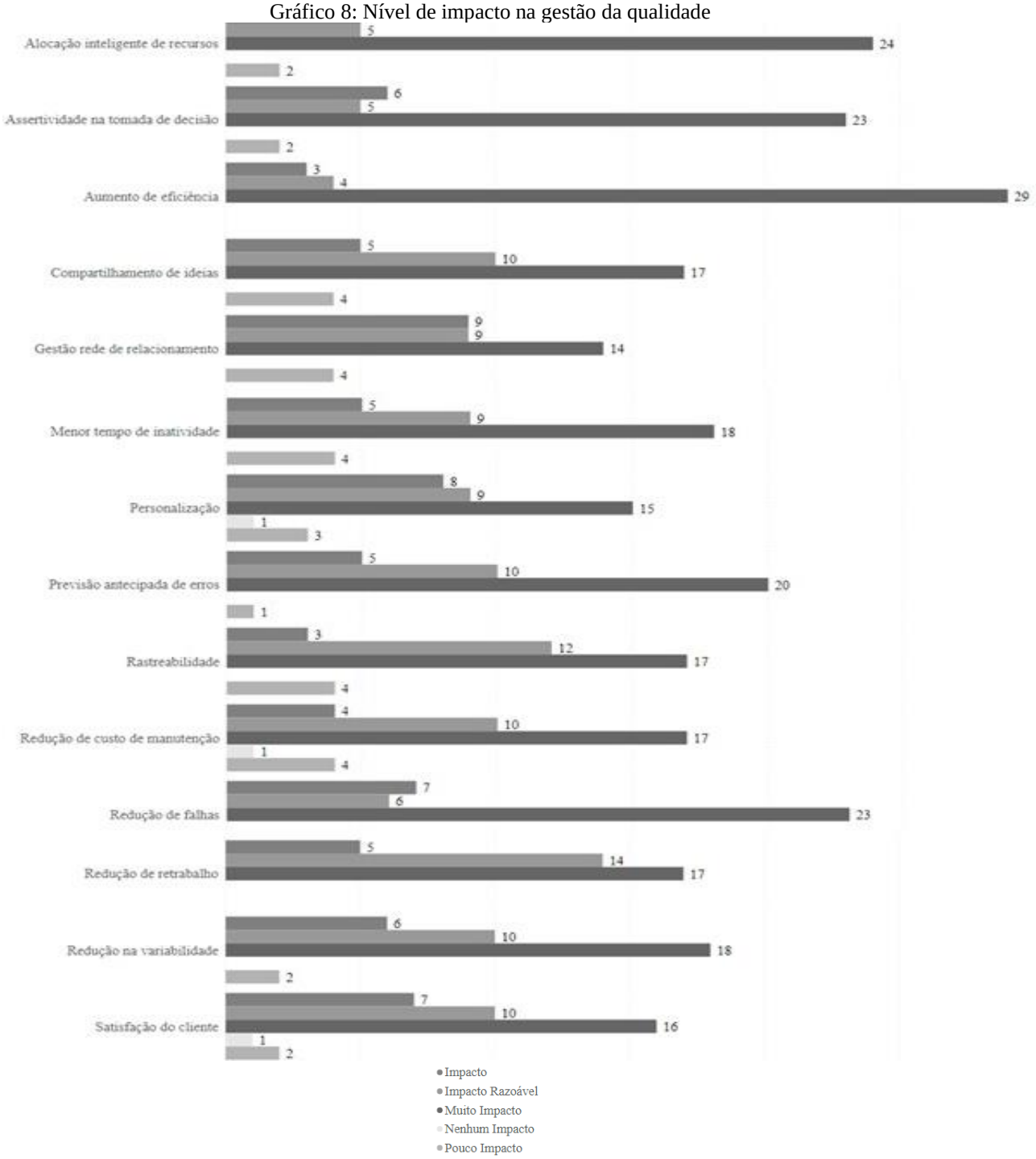
Conforme observado no Gráfico 8, a maioria dos participantes classificaram o aumento na eficiência como um dos fatores que mais impactam/impactarão a gestão da qualidade. Ressalta-se que esse resultado também foi observado por Albers (2016 *apud* SADER; HUSTI; DAROCZI, 2019), onde na pesquisa realizada 80% das empresas que utilizam a Indústria 4.0 obtiveram um aumento de eficiência.

Gráfico 7: Impactos *versus* tecnologias



Fonte: Autora

Gráfico 8: Nível de impacto na gestão da qualidade

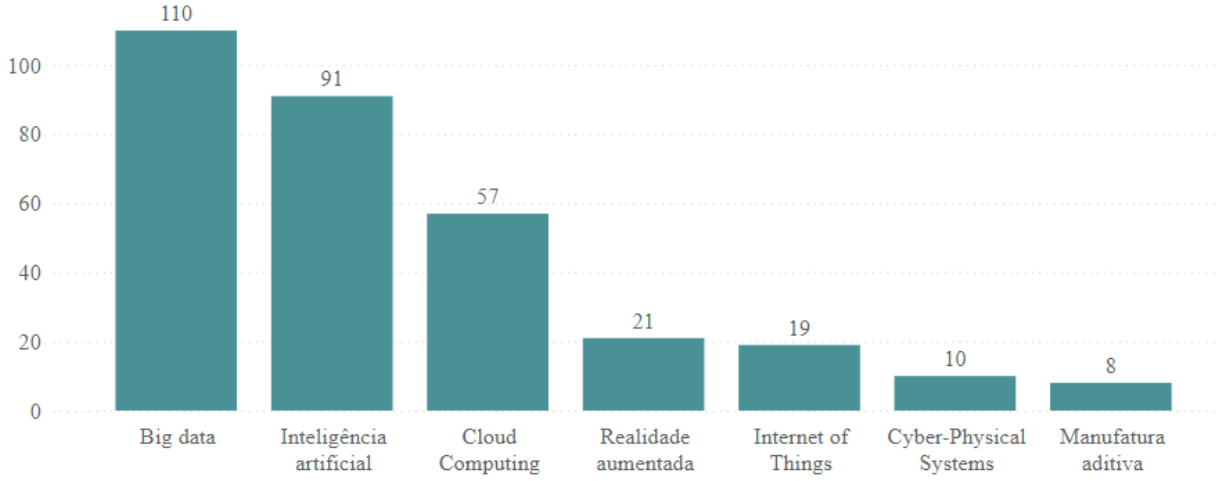


Fonte: Autora

A décima pergunta: “Marque em ordem crescente de importância as três tecnologias que você acredita que mais impactarão o desempenho da Gestão da Qualidade?”. Para melhor análise foram definidos pesos para cada posição, sendo peso 5 para as tecnologias consideradas como a que mais impactará, peso 3 para aquelas colocadas na segunda posição e peso 1 para aquelas colocadas na terceira posição. O *Big Data* foi considerado a tecnologia que mais impactará na visão da maioria dos participantes, seguido no nível de impacto por Inteligência

Artificial e *Cloud Computing*. No Gráfico 9 é possível verificar a ponderação do resultado das tecnologias que mais impactarão.

Gráfico 9: Tecnologias selecionadas como as mais impactantes



Fonte: Autora

A última pergunta: "Por que você acredita que a tecnologia marcada com 1 na questão anterior será a que mais impactará a gestão da qualidade". Este campo não era obrigatório o preenchimento, então nem todos os participantes responderam, a tabela com todas as respostas constam no Apêndice 02.

Os participantes que marcaram *Big Data* como a tecnologia que mais impactará a gestão da qualidade destacaram: a abundância de dados como fonte de informação, como meio de detecção de padrões, além do que esses dados podem ser integrados com as outras tecnologias da indústria 4.0, tais como Inteligência Artificial, *Cyber-Physical Systems*. Com isso, foi ressaltado a importância dos dados para uma tomada de decisão mais embasada, para a eficiência do sistema, bem como para premeditar e mitigar possíveis incidentes. Um ponto de atenção que foi comentado é a importância da análise correta dos dados disponíveis para que não ocorra erros ou comparações equivocadas.

Já em relação a justificativa daqueles participantes que marcaram Inteligência Artificial foram ressaltados os seguintes pontos: o sistema se torna mais eficiente pela diminuição da falha humana, além da máquina realizar o processo de *deep learning*, tornando-se mais autônoma. Devido a isso, é mais garantido que o produto será fabricado dentro das especificações necessárias, reduzindo custos e mantendo qualidade. Ademais, foi comentado sobre a possibilidade de ganho em padronização e redução de variabilidade.

Para aqueles que marcaram *Cloud Computing* foram expostos os seguintes pontos como explicação: que esta tecnologia proporciona maior escalabilidade e rastreabilidade. Outro

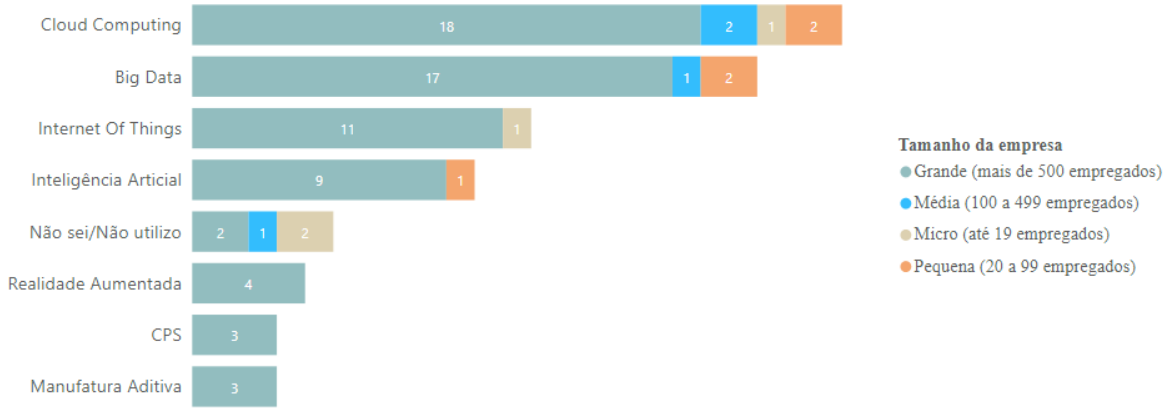
ponto destacado é a importância do gerenciamento de dados para a gestão da qualidade e que *Cloud Computing* permite um acesso e uma gestão mais eficiente destes dados.

Em relação aos que escolheram *Internet of Things* foram apontados os seguintes motivos: a diversidade de possibilidade de aplicações dessa tecnologia e por permitir a interligação física de equipamentos e máquinas com a rede de gestão, ou seja, proporcionando a interface para absorção de dados instantaneamente.

Com relação às duas tecnologias menos selecionadas - Realidade Aumentada e *Cyber-Physical Systems* – as justificativas foram que a primeira pode ser utilizada para garantir a qualidade de processos e a segunda integra sistemas físicos e digitais em tempo real, o que auxilia na redução de falhas.

Através do cruzamento dos resultados da pesquisa apresentada acima, foi possível observar que quanto maior o tamanho da empresa mais uso das novas tecnologias é feito por elas. Algumas tecnologias como realidade aumentada, CPS, manufatura aditiva ficam concentradas nas grandes empresas, como pode ser observado no Gráfico 10.

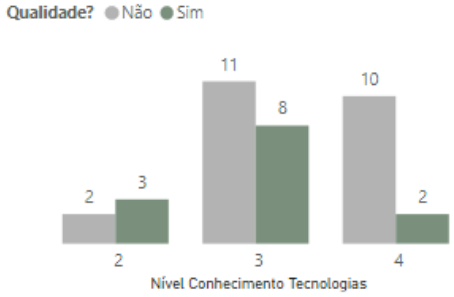
Gráfico 10: Tecnologias utilizadas versus tamanho da empresa



Fonte: Autora

Dentre os profissionais da qualidade que responderam a pesquisa, a maioria dos participantes selecionaram como nível 3 o conhecimento sobre as tecnologias emergentes, como pode ser verificado no Gráfico 11.

Gráfico 11: Conhecimento das tecnologias *versus* atuação na área de qualidade



Fonte: Autora

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em virtude do que foi apresentado neste trabalho, pode-se dizer que o objetivo foi atingido. Visto que, a partir, do estudo realizado acerca do impacto das novas tecnologias da indústria 4.0 na gestão da qualidade, é possível observar que assim como nas revoluções industriais anteriores a modernização e otimização proporcionada pela indústria 4.0 trazem grandes avanços para área de gestão da qualidade, afetando diretamente os processos envolvidos e proporcionando diversos ganhos.

Pode-se ressaltar como principais benefícios para a gestão da qualidade uma maior participação dos clientes em todo o processo produtivo, tornando-o mais adaptativo e interativo em relação às necessidades do cliente, ou seja, um resultado mais personalizado. Além disso, a integração de sistemas e de toda a cadeia produtiva proporciona uma melhor gestão de relacionamento entre todos os envolvidos. Não se pode deixar de destacar a abundância de dados proporcionada pela conexão em redes nos dias de hoje, onde tais dados proporcionam uma tomada de decisão antecipada e mais assertiva o que é um grande ganho para a gestão da qualidade, uma vez que permite uma redução de custos, um menor tempo de inatividade e uma previsão inteligente sobre os processos.

Além disso, percebe-se nos três estudos de casos analisados neste trabalho o como essas novas tecnologias otimizam todo processo e como exemplificam os resultados apresentados pela análise bibliográfica de estudos na área de *Quality 4.0* e *Smart Quality Management*. Com relação aos exemplos práticos apresentados no capítulo 2 pode-se observar que esses casos são de empresas diferentes, que usaram tecnologias diferentes ou de maneiras diferentes, porém obtiveram ganhos na área de gestão da qualidade com o uso das tecnologias emergentes. Dentre os impactos, cabe destacar a manutenção preditiva que foi citada em dois estudos de casos como um impacto, visto que com a disponibilização dos dados é possível prever um problema e tomar uma ação antecipadamente. Outro ponto interessante é o como as tecnologias se relacionam entre si, como no exemplo apresentado da Hyundai foi necessário uma vasta base de dados, *Big Data*, para impulsionar o processo de *deep learning* pela Inteligência Artificial.

Com relação, aos resultados do questionário foram demonstrados uma concentração, no Brasil, no uso das novas tecnologias pelas maiores empresas em detrimento das menores. Dentre as tecnologias mais utilizadas estão *Cloud Computing* e *Big Data,* as quais são mais conhecidas e listadas como destaque no cenário de industrialização atual pela facilidade e necessidade de menos recursos para utilizá-las. Além disso, estas duas tecnologias são listadas

pelos participantes como primeira e segunda, respectivamente, em nível de impacto para a qualidade. Cabe-se destacar os fatores elencados como transformadores no âmbito da gestão da qualidade devido a maior otimização proporcionada pelas tecnologias, sendo eles um aumento de eficiência, alocação inteligente de recursos, assertividade na tomada de decisão e redução de falhas. Os impactos observados na pesquisa se adequam ao que foi identificado com o estudo bibliográfico.

Para elaboração de trabalhos futuros, sugere-se que seja feito um estudo com o intuito de identificar quais habilidades técnicas serão requeridas dos profissionais da área de qualidade para atuarem no universo da indústria 4.0 e como incluir essas habilidades na formação do engenheiro de produção.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P. S. **Indústria 4.0:** princípios básicos, aplicabilidade e implantação na área industrial. 1. ed. São Paulo: Érica, v. 1, 2019.

ASQ. American Society for Quality. **American Society for Quality**. Disponível em: <https://asq.org/quality-resources/quality-4-0>. Acesso em: 01 Janeiro 2021.

BENEŠOVÁ, A; HIRMAN, M; STEINER, F; TUPA, J. **Procedia Manufacturing**, Limerick, v. 38, p. 1691-1696, June 2019.

BIOLCHINI, J.; MIAN, P.; NATALI, A.; CONTE, T.; TRAVASSOS, G. Scientific research ontology to support systematic review in software engineering. **Advanced Engineering Informatics**, v. 21, n. 2, p. 133-151, April 2007.

BOSCH. **The industry 4.0 software solution for systematic production improvements**. Bosch Connected Industry. Germany. 2018.

CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da Qualidade:** Conceitos e Técnicas. 3ªed. ed. São Paulo: Atlas, 2016.

CNI. **Desafios para Indústria 4.0 no Brasil**. Confederação Nacional da Indústria. Brasilia. 2016.

CORRÊA, H. L. **Administração de cadeias de suprimentos e logística:** integração na era da Indústria 4.0. 2ªed. ed. São Paulo: Atlas Ltda, 2019.

CRESWELL, J. W. **Projeto de Pesquisa:** Método qualitativo, quantitativo e misto. 2ªed. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

DARÓCZI, M.; HUSTI, I.; SADER, S. Industry 4.0 as a Key Enabler toward Sucessful Implementation of Total Quality Management Practices. **Periodica Polytechnica Social and Managemente Sciences**, Hungary, 07 August 2019. 131-140.

FBSPESQUISA. **A indústria 4.0 e a pandemia**. Confederação Nacional da Indústria. [S.l.]. 2020.

FERREIRA, A. A.; REIS, A. C. F. **Gestão empresarial de Taylor aos nossos dias:** evolução e tendência da moderna administração de empresas. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

FLATICON. Flaticon. Disponível em: < https://www.flaticon.com/>. Acesso em: 01 Janeiro 2021.

FOIDL, H.; FELDERER, M. Research Challenges Of Industry 4.0 for Quality Management. **Lecture Notes in Business Information Processing**, 2016. 121-137.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6ªed. ed. São Paulo: Atlas S.A, 2008.

HAMID, S. R.; ISA, S.; CHEW, B., C.; ALTUN, A. Quality Management Evolution from the Past to Present: Challenges for Tomorrow. **Organizacija**, Gebze, v. 52, n. 3, 3 August 2019.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. **49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)**, Koloa, 2016. 3928-3937.

HYUNDAI Motor Group. **HMG, the World's First AI-Based Diagnostics for Fault Detection**, 2018. Disponível em: <https://tech.hyundaimotorgroup.com/article/worlds-first-ai-fault-detection-and-diagnostics-by-the-hmg/>. Acesso em: 28 Dezembro 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: < https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/993> Acesso em: 17 Janeiro 2021.

KEMP, S. Digital in 2019. **We are social**, 2019. Disponível em: <https://wearesocial.com/global-digital-report-2019>. Acesso em: 27 Junho 2020.

KNECHTEL, M. D. R. **Metodologia da pesquisa em educação:** uma abordagem teórico-prática dialogada. Curitiba: Intersaberes, 2014.

KRUBASIK, S. Kearney. **Kearney**. Disponível em: <https://www.kearney.com/industrial-goods-services/article?/a/quality-4-0-preventive-holistic-future-proof>. Acesso em: 02 Janeiro 2021.

LAMAS, F. P.; CARAMÉS, F., M. T.; NOVOA, B., O.; MONTESINOS, V., M. A Review on Industrial Augmented Reality Sytems for the Industry 4.0 Shipyard. **Special Section On Human - Centered Smart Systems and Technologies**, March 2018.

LEE, E. **Computing Foundations and Practice for Cyber-Physical Systems**. Electrical Engineering and Computer Sciences University of California at Berkeley. Berkeley. 2007.

LEE, S. M.; LEE, D.; KIM, Y. S. The quality management ecosystem for predictive maintenance in the Industry 4.0 era. **International Journal of Quality Innovation**, 2019.

MARR, B. Tecnologia empresarial. **Forbes**, 2015. Disponivel em: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2015/06/01/how-big-data-drives-success-at-rolls-royce/?sh=34cc18c61d69>. Acesso em: 28 Dezembro 2020.

NARULA, S.; PRAKASH, S.; DWIVEDY, M.; TALWAR, V.; TIWARI, S. Industry 4.0 adoption key factors: an empirical study on manufcturing industry. **Emerald Insight**, v. 17, n. 5, p. 697-725, July 2020.

NGAI, W. T. E. Quality management in the 21st century enterprises: Research pathway towards Industry 4.0. **International Journal of Production Economics**, p. 125-129, 2019.

OLIVEIRA, O. J. **Curso Básico de Gestão da Qualidade**. São Paulo: [s.n.], 2015.

PACHECO, R. R. **Evolução da Gestão da Qualidade: uma análise por meio da revisão bibliográfica sistemática**. Dissertação em Engenharia de Produção (Universidade de Brasília). Brasília. 2018.

QUINTINO, L. F.; SILVEIRA, A., M.; AGUIAR, F., R.; RUWER, L., M., E.; QUADROS, M., L. **Indústria 4.0**. Porto Alegre: SAGAH EDUCAÇÂO S.A, 2019.

RADZIWILL, N. Let's Get Digital: the many ways the fourth industrial revolution is reshaping the way we think about quality. **Quality Progress (ASQ)**, p. 24-29, October 2018.

RICH, S. Big Data is a 'New Natural Resource', IBM Says. **GovTech**, 2012. Disponivel em: <https://www.govtech.com/policy-management/Big-Data-Is-a-New-Natural-Resource-IBM-Says.html>. Acesso em: 28 Junho 2020.

RTINSIGHTS. RTInsights.com. **RTInsights.com**, 2016. Disponível em: <https://www.rtinsights.com/rolls-royce-jet-engine-maintenance-iot/>. Acesso em: 28 Dezembro 2020.

SACOMANO, J.; GONÇALVES, R.; BONILLA, S. **Indústria 4.0:** conceitos e fundamentos. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2018.

SADER, S.; HUSTI, I.; DAROCZI, M. Quality Management Practices in the era of Industry 4.0. **Zeszyty Naukowe Politechniki Czestochowskiej**, v. 35, p. 117-126, 2019.

SADER, S.; HUSTI, I.; MIKLOS, D. **Total Quality Management in the context of industry 4.0**. Synergy International Conferences - Engineering, Agriculture and Green Industry Innovation. Gödöllő: [s.n.]. 2017.

SALESFORCE. Salesforce Brasil. **Salesforce**, 2018. Disponível em: <https://www.salesforce.com/br/blog/2018/4/Machine-Learning-e-Deep-Learning-aprenda-as-diferencas.html>. Acesso em: 15 Março 2021

SANTOS, R. C. Proposta de modelo de avalização de maturidade da Indústria 4.0, Coimbra, Abril 2018.

SILVA, J., S.; GRAMS, A., L.; SILVEIRA, J., F. **Estatística**. Porto Alegre: SAGAH, 2018.

SISODIA, R.; FORERO, D. V. **Quality 4.0 - How to Handle Quality in the Industry 4.0 Revolution**. Department of Technology management and economics, Chalmers University of Technology. Gothenburg. 2020.

SONY, M.; ANTONY, J.; DOUGLAS, A. J. Essential ingredients for the implementation of Quality 4.0. **TQM Journal**, v. 32, p. 779-793, January 2020.

STANDARDIZATION, I. O. F. **ISO 9001:2015**. International Organization for Standardization. [S.l.]. 2015.

TOLEDO, J.; BORRÁS, M.; MERGULHÃO, R.; MENDES, G. **Qualidade - Gestão e Métodos**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2017.

TORTORELLA, G.; SILVA, E.; VARGAS, D. **An empirical analysis of Total Quality Management and Total Productive Maintenance in Industry 4.0**. Conference on Industrial Engineering and Operations Management. Johannesburg, South Africa: [s.n.]. 2018.

TUPA, J.; SIMOTA, J.; STEINER, F. Aspects of risk management implementation for Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, p. 1223-1230, 2017.

ZHONG, R.; XU, X.; KLOTZ, E.; NEWMAN, S. Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. **Engineering**, v. 3, p. 616-630, 2017.

ZONNENSHAIN, A.; KENETT, S. R. Quality 4.0 - the challenging future of quality engineering. **Quality Engineering**, v. 32, p. 614-626, February 2020.

APENDICE 01 – QUESTIONÁRIO DA PESQUISA SOBRE IMPACTOS DA INDÚSTRIA 4.0 NA GESTÃO DA QUALIDADE

Seção 01: Compreendendo sua área de atuação

Apresento, abaixo, perguntas para compreender a empresa em que você trabalha, bem como sua área de atuação.

01) Segundo a classificação do IBGE, qual ramo da sua empresa?

( ) Indústrias extrativas;

( ) Indústrias de transformação;

( ) Eletricidade e gás;

( ) Água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação;

( ) Construção;

( ) Comércio; reparação de veículos automotores e motocicletas;

( ) Transporte, armazenagem e correio;

( ) Alojamento e alimentação;

( ) Informação e comunicação;

( ) Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados;

( ) Atividades imobiliárias;

( ) Atividades profissionais, científicas e técnicas;

( ) Atividades administrativas e serviços complementares;

( ) Administração pública, defesa e seguridade social;

( ) Educação;

( ) Saúde humana e serviços sociais;

( ) Artes, cultura, esporte e recreação;

( ) Outras atividades de serviços;

( ) Serviços domésticos;

( ) Organismos internacionais e outras instituições extraterritoriais.

02) Segundo a classificação do IBGE, qual o tamanho da empresa em que você trabalha?

( ) Micro (até 19 empregados);

( ) Pequena (20 a 99 empregados);

( ) Média (100 a 499 empregados);

( ) Grande (mais de 500 empregados).

03) Qual o seu cargo na empresa?

( ) Estagiário;

( ) Analista;

( ) Supervisor/Coordenador;

( ) Gestor/Gerente;

( ) Diretor;

( ) Outros_____.

04) Você trabalha na área de qualidade da empresa?

( ) Sim;

( ) Não.

05) Caso a resposta anterior seja negativa, o participante teve que responder seguinte questão: Você acredita que é possível responder questões sobre Indústria 4.0 e sua relação com gestão da qualidade?

( ) Sim;

( ) Não.

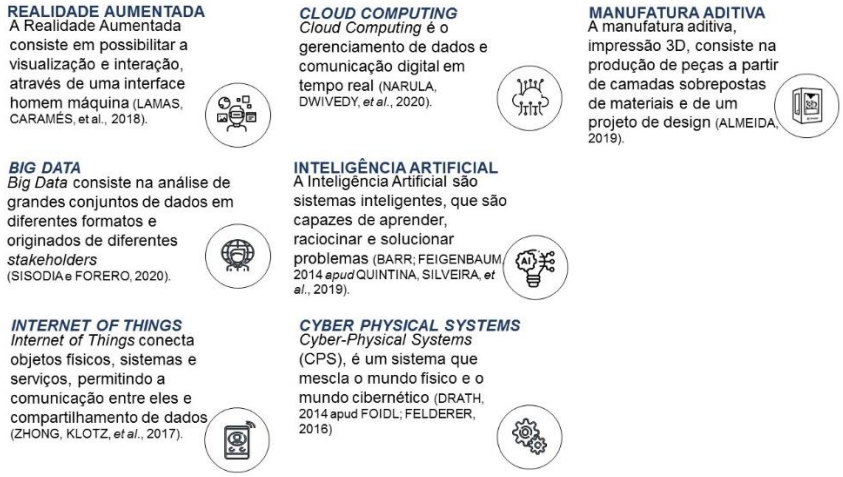
Seção 02: **Tecnologias da indústria 4.0 e Gestão da Qualidade**

Esta seção tem com propósito compreender os seus conhecimentos acerca das tecnologias da indústria 4.0, os impactos que você acredita que estas tecnologias irão causar/já estão causando na área de Gestão da Qualidade.

Descrição Indústria 4.0 e tecnologias:

Indústria 4.0

A indústria 4.0 consiste na conexão de todas as partes das máquinas por meio de cadeias de dados e operações integradas. (TUPA; SIMOTA; STEINER, 2017). Devido ao avanço no nível de informação e o surgimento de novas tecnologias integradas com toda a cadeia produtiva, originou-se as *Smart Factories*, ou seja, um ambiente em que é possível a comunicação de máquinas, produtos e pessoas em toda a extensão da cadeia, eliminando as fronteiras entre o mundo físico e o virtual. (SADER; HUSTI; DAROCZI, 2019).



01) Qual nível de conhecimento você considera ter sobre as tecnologias da indústria 4.0?

( ) 0 Nenhum conhecimento;

( ) 1 Conhecimento mínimo;

( ) 2 Pouco conhecimento;

( ) 3 Conhecimento;

( ) 4 Conhecimento razoável;

( ) 5 Muito conhecimento.

02) Marque as tecnologias utilizadas pela sua empresa

( ) Realidade Aumentada;

( ) *Big Data*;

( ) Inteligência Artificial;

( ) *Cyber-Physical Systems*;

( ) Manufatura Aditiva;

( ) *Internet Of Things*;

( ) *Cloud Computing*;

( ) Não sei/ Não utilizo;

( ) Outros_____;

03) Abaixo consta uma matriz de relação, entre as tecnologias da indústria 4.0 e os seus possíveis impactos na área de Gestão da Qualidade. Então, por favor, marque todos em que você acredita que apresenta relação entre si. (O participante podia marcar mais de uma tecnologia por impacto)

Impactos/ Tecnologias	Realidade Aumentada	*Big Data*	Inteligência Artificial	*Cyber-Physical Systems*
Redução de falhas				
Aumento de eficiência				
Redução na variabilidade produtiva				
Redução de retrabalho				
Rastreabilidade				
Transparência de dados				
Aumento de satisfação do cliente				
Redução de custo de manutenção				
Reconfiguração/Adaptação instantânea de processos de fabricação				
Maior assertividade na tomada de decisão				
Previsão antecipada de erros				
Menor tempo de inatividade				
Melhor gestão da rede de relacionamento				
Alocação inteligente de recursos				

Personalização				
Compartilhamento de ideias				

04) Continuação da matriz de relação anterior. (O participante podia marcar mais de uma tecnologia por impacto)

Impactos/ Tecnologias	Manufatura Aditiva	*Cloud Computing*	*Internet Of Things*	*Não sei/ Não identifico relação*
Redução de falhas				
Aumento de eficiência				
Redução na variabilidade produtiva				
Redução de retrabalho				
Rastreabilidade				
Transparência de dados				
Aumento de satisfação do cliente				
Redução de custo de manutenção				
Reconfiguração/Adaptação instantânea de processos de fabricação				
Maior assertividade na tomada de decisão				
Previsão antecipada de erros				
Menor tempo de inatividade				
Melhor gestão da rede de relacionamento				
Alocação inteligente de recursos				
Personalização				
Compartilhamento de ideias				

05) Qual nível de impacto você acredita que será observado com a implementação das novas tecnologias nos itens abaixo ? (O participante só podia marcar um nível por cada impacto)

Impactos/ Tecnologias	Muito Impacto	Impacto Razoável	Impacto	Pouco Impacto	Nenhum Impacto
Redução de falhas					
Aumento de eficiência					
Redução na variabilidade produtiva					
Redução de retrabalho					
Rastreabilidade					
Transparência de dados					
Aumento de satisfação do cliente					
Redução de custo de manutenção					
Reconfiguração/Adaptação instantânea de processos de fabricação					
Maior assertividade na tomada de decisão					
Previsão antecipada de erros					
Menor tempo de inatividade					

Melhor gestão da rede de relacionamento					
Alocação inteligente de recursos					
Personalização					
Compartilhamento de ideias					

06) Marque em ordem crescente de importância as três tecnologias que você acredita que mais impactarão o desempenho da Gestão da Qualidade? (Observação: 1 equivale a tecnologia que você acredita que mais impactará)

Classificação / Tecnologia	Realidade Aumentada	*Big data*	*Internet of things*	*Cloud computing*	Inteligência artificial	*Cyber-Physical Systems*	Manufatura aditiva
1							
2							
3							

07) Por que você acredita que a tecnologia marcada com 1 será a que mais impactará a Gestão da Qualidade?

08) Espaço para qualquer comentário adicional sobre possíveis impactos, consequências da implementação destas tecnologias

APÊNDICE 02 – RESPOSTAS QUESTÃO ABERTA DA PESQUISA

Tecnologia marcada como a que mais vai impactar	Por que você acredita que a tecnologia marcada com 1 será a que mais impactará a Gestão da Qualidade?
Big Data	"A análise de grande volume de dados acredito que vá impactar em uma melhor tomada de decisão frente a variabilidade de processos e serviço tendendo, assim, uma melhor gestão de conhecimento"
	"Análise e cruzamento das bases de dados de maneira inteligente... visão sistêmica"
	"Com acesso a uma base de dados compilada, é a base para tomadas de decisão até para a inclusão de novas tecnologias, apesar da Inteligência Artificial ser uma um dos recursos ainda temos outros fatores
	"Com informação consegue agir de forma eficaz"
	"Dados são tudo. Com eles podemos premeditar e mitigar possíveis falhas e incidentes através de uma análise profunda e detalhada de um grande volume de dados"
	"Grande volume de informações, manipuladas adequadamente por ferramentas inteligentes de gestão, podem causar impactos positivos a uma organização. Tudo desde o planejamento a tomada de decisões, com ba
	"Pois o uso de big data para fazer com que dados se transformem em ferramentas para tomadas de decisões tirará as mesmas das mãos de profissionais que agem segundo sua intuição/experiência. Ainda haverá
	"Pois tem relação direta com a gestão o obtenção de conhecimento através dos dados da organização"
	"Porque a análise de dados ajuda com o reconhecimento de padrões. Assim, é possível alocar melhor os recursos dependendo do que foi observado a partir dos dados coletados e processados."
	"Porque base de dados bem estruturado é a raiz da qualidade. Através de analise de dados que são tomadas todas as decisões nas organizações. hoje e no futuro."
	"Sim, pois fonte de dados de origens diferentes e em grande escala precisam de ser muito bem manipulados para serem eficientes e não causarem erros, bugs ou comparações equivocadas"
	"Tudo gera algum dado e esse dado precisa ser analisado para uma melhor eficiência!"
	"Uma análise bem feita de uma grande quantidade de dados gera informação suficiente para nutrir não só outras das tecnologias antes citadas, mas também permite que o trabalho manual já feito hoje seja m
Cloud Computing	"Com esta tecnologia permitirá maior escalabilidade e rastreabilidade, além de alocação inteligente dos recursos. Acredito que as demais tecnologias, em sua maioria, depende da evolução desta."
	"O gerenciamento de dados para a área de qualidade é ponto essencial para execução do trabalho. Quanto mais eficientes o acesso e gestão forem, melhor o desempenho dos envolvidos."

	"Por permitir analises com mais variáveis do que é confortável para nós analisar sem a tecnologia."
	"Qualidade, na visão de software, está muito ligado a resiliência, um software escalável e distribuído em ""cloud"" traz diversos benefícios em performance e segurança, o que na minha visão é o m
Cyber-Physical Systems	"Ao integrar sistemas físicos com digitais se torna possível ter dados em tempo real e agir em tempo real para reduzir falhas"
Inteligência Artificial	"Acredito que pela facilidade de análise de dados"
	"Capacidade de ser mais eficiente do que a mão de obra humana, garantido que pode ser produzido dentro das especificações necessárias reduzindo custo e mantendo a qualidade"
	"Contribuir para a eliminação de erros humanos (poka yoke)"
	"Decisões serão revistas e tomadas com base em argumentos e experiências aprendidas"
	"Pelo retorno rápido e previsão antecipada de erros/falhas"
	"Por que irá automatizar processos, reduzindo as chances de erros."
	"Porque com esta tecnologia você ganha padronização e redução da variabilidade."
	"Possibilidade de aprender e corrigir"
Internet of Things	"Acredito que a Internet of Things seja marcada como a mais impactante pois a sua aplicação é muito diversa, podendo atuar nos mais diversos tipos de máquinas, sendo uma ponte. Pode monitorar
	"Inicialmente será a internet das coisas por permitir a interligação física de equipamentos e maquinas com a rede de gestão, permitindo acesso aos dados e estudos em tempo instantaneo"
Realidade Aumentada	"Por que você irá avaliar os processos de uma forma mais precisa que possui uma maior variabilidade humana e assim atuar de forma a garantir a qualidade dos processos"
	"Porque está tecnologia não tem muito impacto com entrega do produto"