

UFRRJ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GESTÃO E ESTRATÉGIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E ESTRATÉGIA – MPGE

DISSERTAÇÃO

**INTEGRADOR COORPORATIVO NA INDÚSTRIA 4.0: DIRETRIZES
PARA ESTRUTURAR UM DEPARTAMENTO DE GESTÃO
ESTRATÉGICA DO NEGÓCIO**

FRANKLIN DA SILVA NONATO

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GESTÃO E ESTRATÉGIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E ESTRATÉGIA

**INTEGRADOR COORPORATIVO NA INDÚSTRIA 4.0: DIRETRIZES
PARA ESTRUTURAR UM DEPARTAMENTO DE GESTÃO
ESTRATÉGICA DO NEGÓCIO**

FRANKLIN DA SILVA NONATO

Sob a orientação do professor

André Luiz de Castro Leal, D. Sc.

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre**, no Curso do Programa de Pós-Graduação em Gestão e Estratégia, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ.

Seropédica / RJ

Março de 2021

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

N812i Nonato, Franklin da Silva, 1980-
INTEGRADOR COOPERATIVO NA INDÚSTRIA 4.0:
DIRETRIZES PARA ESTRUTURAR UM DEPARTAMENTO DE GESTÃO
ESTRATÉGICA DO NEGÓCIO / Franklin da Silva Nonato. -
Rio de Janeiro, 2021.
157 f. : il.

Orientador: André Luiz de Castro Leal.
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro, MPGE, 2021.

1. Indústria 4.0. 2. Diretrizes. 3. Gestão
estratégica. 4. Estratégia. 5. Controle. I. Leal,
André Luiz de Castro, 1971-, orient. II Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro. MPGE III. Título.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E ESTRATÉGIA**

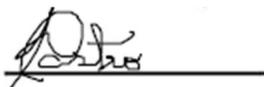
FRANKLIN DA SILVA NONATO

Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre**, no Programa de Pós Graduação em Gestão e Estratégia, Área de Concentração em Gestão e Estratégia.

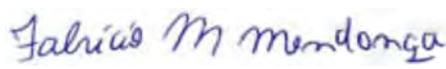
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 30/03/2021.

Conforme deliberação número 001/2020 da PROPPG, de 30/06/2020, tendo em vista a implementação de trabalho remoto e durante a vigência do período de suspensão das atividades acadêmicas presenciais, em virtude das medidas adotadas para reduzir a propagação da pandemia de Covid-19, nas versões finais das teses e dissertações as assinaturas originais dos membros da banca examinadora poderão ser substituídas por documento(s) com assinaturas eletrônicas. Estas devem ser feitas na própria folha de assinaturas, através do SIPAC, ou do Sistema Eletrônico de Informações (SEI) e neste caso a folha com a assinatura deve constar como anexo ao final da tese / dissertação.

André Luiz de Castro Leal, Dr. – INSTITUIÇÃO - PRESIDENTE DA BANCA,
ORIENTADOR.

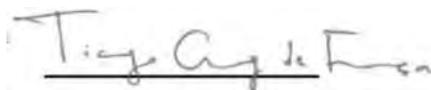


Fabício Martins Mendonça, Dr. – MEMBRO EXTERNO À INSTITUIÇÃO



Fernando Hadad Zaidan, Dr. – MEMBRO EXTERNO À INSTITUIÇÃO

Tiago Cruz de França, Dr. – INST



DEDICATÓRIA

À Deus por ter me dado forças, oportunidades e iluminação de concluir esta importante etapa acadêmica.

Aos meus pais, a minha irmã, e meu sobrinho, que sempre me deram apoio e incentivo.

A minha esposa Aline, por sempre estar comigo nos momentos de dificuldades e me ajudar a nunca desistir da luta pelos meus desafios.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me dar força e perseverança para nunca desistir diante dos desafios.

Aos meus pais, Paulo Nonato e Odete da Silva Nonato, por sempre me incentivarem a estudar e seguir um caminho de esforço e dedicação, rumo ao sucesso.

À minha esposa Aline, por me dar suporte nas altas horas da noite estudando e não desanimar.

Ao professor Dr. André Castro Leal, pelas valiosas orientações nesta pesquisa.

RESUMO

NONATO, Franklin da Silva. **Integrador corporativo na indústria 4.0: diretrizes para estruturar um departamento de gestão estratégica do negócio**. 157p Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Estratégia). Instituto de Ciências Sociais Aplicadas, PPGE, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

Objetivo: O principal objetivo é elaborar um conjunto de diretrizes estratégicas, principalmente com base em previsibilidade, recorrendo-se ao suporte da Indústria 4.0, de modo a servir de um elemento integrador dos objetivos corporativos para a organização estudada. **Metodologia:** O Design Science foi o método epistemológico de pesquisa optado, que cria conhecimento abordando como as pesquisas de caráter científico podem ser construídas através de métodos de concepção de artefatos. **Aplicabilidade e limitações:** Esta pesquisa servirá para que as empresas tenham diretrizes, estabelecidas com base metodológica, para o amadurecimento na implantação da Indústria 4.0 e implantação de um departamento de monitoramento, controle e gestão de ativos. **Resultados:** Neste estudo foi desenvolvido um arcabouço com base na metodologia em *Goals-Question-Operationalization* e *Non-Functional Requirements Framework* para o desenvolvimento de um *Softgoal Interdependency Graph* – SIG, que juntos compõem a principal estrutura do artefato para direcionamento na elaboração dos diagramas de perguntas padrões e respostas elaboradas a partir da decomposição do SIG para se descobrir e dar suporte para respostas a modelos de maturidade para a Indústria 4.0 focados na Capacidade Preditiva. **Originalidade:** Este estudo, original e ainda pouco explorado na literatura científica, buscou desenvolver o “como fazer” para a maturidade na implantação da Indústria 4.0 e a criação de base para direcionar um departamento estratégico.

Palavras chaves: Indústria 4.0, Diretrizes, Gestão estratégica.

ABSTRACT

NONATO, Franklin da Silva. **Corporate integrator in industry 4.0: guidelines for structuring a strategic business management department.** 157p Dissertation (Professional Master in Management and Strategy). Institute of Applied Social Sciences, PPGE, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

Objective: The main objective is to develop a set of strategic guidelines, mainly based on predictability, using the support of Industry 4.0, in order to serve as an integrating element of the corporate objectives for the studied organization. **Methodology:** Design Science was the epistemological research method chosen, which creates knowledge addressing how scientific research can be constructed through artifact design methods. **Applicability and limitations:** This research will serve for companies to have guidelines, established on a methodological basis, for the maturity in the implementation of Industry 4.0 and the implementation of an asset monitoring, control and management department. **Results:** In this study, a framework was developed based on the methodology in Goals-Question-Operationalization and Non-Functional Requirements Framework for the development of a Softgoal Interdependency Graph - GIS, which together make up the main structure of the artifact for guidance in the elaboration of the diagrams of standard questions and answers elaborated from the decomposition of the GIS to discover and support responses to maturity models for Industry 4.0 focused on Predictive Capacity. **Originality:** This study, original and still little explored in the scientific literature, sought to develop the “how to” for the maturity in the implementation of Industry 4.0 and the creation of a basis to direct a strategic department.

Keywords: Industry 4.0, Guidelines, Strategic management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: da indústria 1.0 para a indústria 4.0. Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de (FRIEDL, 2018).

Figura 02: Triângulo da estratégia competitiva. Fonte: Collis et al. (2001).

Figura 03: Etapas da pesquisa. Fonte: traduzido e adaptado de van Aken et al. (2009).

Figura 04: Representação em quatro fases do ciclo básico da investigação-ação. Fonte: TRIPP (2005).

Figura 05: Dimensões de capacidade na Indústria 4. Fonte: traduzido e adaptado de Gökalp et al. (2017).

Figura 06: Processo de mapeamento sistemático. Fonte: Carvalho et al. (2017).

Figura 7: Processo de Mapeamento Sistemático. Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 8: Distribuição de artigos publicados após 1990.

Figura 9: Distribuição de onde estão sendo mais publicados os artigos.

Figura 10: Gráfico de Pareto do mapeamento com base na RQ3.

Figura 11: Gráfico de Pareto da distribuição da quarta questão de pesquisa.

Figura 12: Gráfico de Pareto da distribuição dos dados.

Figura 13: Gráfico de Pareto da distribuição dos dados da sexta RQ.

Figura 14: Corte no gráfico de Pareto da figura 13 para ilustrar os assuntos mais relevantes.

Figura 15: Estrutura da pesquisa, fundamentada em Design Science. Elaborado pelo autor.

Figura 16: Padrões NFR. Adaptado de Leal et al. (2015).

Figura 17: Estágios do mapeamento do nível de maturidade proposto pela Acatech. Fonte: SCHUH et al., 2020.

Figura 18: As três fases da avaliação de maturidade da Acatech. Fonte: Traduzido de SCHUH et al., 2020.

Figura 19: Exemplo de pergunta do questionário Acatech. Fonte: Traduzido de SCHUH et al., 2020.

Figura 20: Evolução da maturidade no modelo de avaliação a Acatech. Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 21: SIG da pesquisa. Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 22: DQP – Diagrama de Questões Padrão – para o atributo da modelabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 23: DQP – Diagrama de Questões Padrão – para o atributo da simplicidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 24: DQP – Diagrama de Questões Padrão – para o atributo da efetividade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 25: DQP – Diagrama de Questões Padrão – para o atributo da divisibilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 26: DQP – Diagrama de Questões Padrão – para o atributo da dinâmabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 27: DQP – Diagrama de Questões Padrão – para o atributo da Avaliabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 28: DQP – Diagrama de Questões Padrão – para o atributo da Proatividade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 29: DQP – Diagrama de Questões Padrão – para o atributo da Desorganabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 30: DQP – Diagrama de Questões Padrão – para o atributo da Interatividade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 31: DQP – Diagrama de Questões Padrão – para o atributo da Sistemabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 32: Ilustração visual da metodologia aplicada na pesquisa.

Figura 33: Respostas do Brasil às perguntas do questionário Acatech. Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 34: Painel de indicadores do custo de manutenção da Ternium Br.

Figura 35: Levantamento de consumo de lubrificante por área.

Figura 36: Indicador de consumo de lubrificantes.

Figura 37: Topologia ilustrativa do sistema de monitoramento online dos conversores da Aciaria.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Questões de pesquisa do mapeamento sistemático.

Quadro 2: Critérios de exclusão.

Quadro 3: Ferramentas e aplicações digitais.

Quadro 4: Respostas mais representativas da 6º RQ do mapeamento sistemático.

Quadro 5: relação de modelos de maturidade avaliados. Fonte: Usado o modelo da tabela de Schumacher et al, (2016), completado pelo autor.

Quadro 6: Dimensões e itens de maturidade do Modelo de Maturidade da Indústria 4.0. Fonte: Schumacher et al. (2016).

Quadro 7: Relação de definições do SIG de Maturidade da Indústria 4.0.

Quadro 8: As alternativas (respostas) desenvolvidas para o atributo da modelabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 9: Quadro de alternativas para o atributo da Simplicidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 10: Quadro de alternativas para o atributo da Efetividade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 11: Quadro de alternativas para o atributo da Divisibilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 12: Quadro de alternativas para o atributo da Dinâmabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 13: Quadro de alternativas para o atributo da avaliabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 14: Quadro de alternativas para o atributo da Proatividade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 15: Quadro de alternativas para o atributo da desorganabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 16: Quadro de alternativas para o atributo da interatividade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 17: Quadro de alternativas para o atributo da Sistemabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 18: Quadro de alternativas aplicadas a Ternium Brasil para o atributo da Divisibilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 19: Quadro de alternativas aplicadas a Ternium Brasil para o atributo da Interatividade. Fonte: Elaborado pelo autor.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Categorias da primeira questão de pesquisa.

Tabela 2: Categorias da segunda questão de pesquisa.

Tabela 3: Categorias da terceira questão de pesquisa.

Tabela 4: Categorias da quarta questão de pesquisa.

Tabela 5: Categorias da quinta questão de pesquisa.

Tabela 6: Categorias da sexta questão de pesquisa.

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E TERMOS

Analytics – softwares de manipulação e tratamento de dados

BigD – *Big Data* – Grandes Bancos de dados

Cloud – Banco de dados virtual, onde os dados ficam em servidores físicos centralizados e toda atualização (upload ou download) é feita através da internet.

CPS – *Cyber Physical Systems* – Sistemas Ciber Físicos

EBITDA – *Earnings Before Interest, Tax, Depreciation and Amortization* – Lucro antes dos juros, impostos, depreciação e amortização

IoT – *Internet of Things* – Internet das coisas

KPI – *Key Performance Indicator* – Indicadores de desempenho chaves

ToIndustry4.0 – Tools of Industry 4.0 – sigla usada nesta pesquisa para se referir as tecnologias digitais de *Analytics*, *BigD*, *Cloud*, *CPS* e *IoT* simultaneamente. $ToIndustry4.0 = Analytics + BigD + Cloud + CPS + IoT$.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1 Problema de pesquisa.....	19
1.2 Justificativas	20
1.2.1 Justificativas práticas.....	21
1.2.2 Justificativas teóricas	22
1.3 Objetivos	22
1.3.1 Principal:.....	23
1.3.2 Intermediários:.....	23
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	24
2.1 A 4º Revolução Industrial.....	24
2.2 Modelos de avaliação de maturidade para a indústria 4.0	25
2.3 BigD – <i>Big Data</i> – Base de dados 4.0	26
2.4 Cultura estratégica competitiva	27
2.5 Posicionamento estratégico.....	28
2.6 Gestão e Controle Industrial	30
3. METODOLOGIA DE PESQUISA.....	31
3.1. Delimitação da pesquisa.....	31
3.2. Natureza da pesquisa	32
3.3. Tipo de abordagem qualitativa	32
3.4. Etapas da Pesquisa.....	33
3.4.1. Etapa 1 – Planejamento e Entendimento detalhado do problema de pesquisa	33
3.4.2. Etapa 2 – Revisão bibliográfica.....	33
3.4.2.1. Etapa 2.1 – Mapeamento Sistemático.....	33
3.4.2.2. Etapa 2.2 – Análise de conteúdo.....	33
3.4.3. Etapa 3 – Síntese da pesquisa.....	34
3.4.4. Etapa 4 – Proposição do design.....	34
3.4.5. Etapa 4.1 – Definição da abordagem	34
3.4.5.1. Etapa 4.2 – Elaboração do SIG (<i>Softgoal Interdependency Graph</i>).....	36
3.4.5.2. Etapa 4.3 – Elaboração do catálogo de maturidade da indústria 4.0	36
3.4.5.3. Etapa 4.4 – Definição do modelo com as diretrizes	37
3.4.6. Etapa 5 – Avaliação do artefato	37
4. DESENVOLVIMENTO	38
4.1 Etapa 1 – Planejamento e Entendimento detalhado do problema de pesquisa	38

4.2	Etapa 2 – Revisão bibliográfica.....	39
4.2.1.	Mapeamento Sistemático	39
4.2.2.	Considerações finais do mapeamento sistemático	55
4.2.3	Análise de Conteúdo.....	56
4.2.3.1	Pré-análise.....	57
4.2.3.2	Exploração do material.....	58
4.2.3.3	Tratamento dos dados e interpretação	59
4.3	Etapa 3 – Síntese da pesquisa.....	65
4.4	Etapa 4 – Proposição do design.....	67
4.4.1	Definição da abordagem	68
4.4.2	Elaboração do SIG	73
4.4.3	Etapa 4.3 Elaboração do catálogo de DQP (Diagrama de Questões-Padrão).....	86
4.4.3.1	Modelabilidade	87
4.4.3.2	Simplicidade.....	90
4.4.3.3	Efetividade	94
4.4.3.4	Divisibilidade	97
4.4.3.5	Dinâmabilidade.....	100
4.4.3.6	Avaliabilidade.....	103
4.4.3.7	Proatividade.....	106
4.4.3.8	Desorganabilidade	110
4.4.3.9	Interatividade	113
4.4.3.10	Sistemabilidade.....	117
4.4.4	Etapa 4.4 Definição do artefato.....	120
4.5	Etapa 5 – Avaliação do artefato	121
4.5.1	A Ternium.....	121
4.5.2	Maturidade da Ternium	122
4.5.3	Diagramas de questões padrões na Ternium	124
4.5.3.1	Divisibilidade na Ternium Br.....	125
4.5.3.2	Interatividade na Ternium Br.....	128
4.5.4	Casos do contexto Indústria 4.0 na Ternium Br.....	132
4.5.4.1	Caso 1 – Projeto de controle de fluidos hidráulicos	132
4.5.4.2	Caso 2 – Monitoramento de condição do conversor.....	134
4.5.4.3	Caso 3 – Entrada de materiais na Ternium Br.....	135
4.5.4.4	Caso 4 – Departamento de Engenharia Industrial.....	135
5.	CONCLUSÃO	136

REFERÊNCIAS	138
APÊNDICE A – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DO PLANO DE VISITAS ESTRATÉGICAS DA TERNIUM	143
APÊNDICE B – REFERÊNCIAS DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO.....	152

1. INTRODUÇÃO

A indústria de manufatura passou por três revoluções no período de 1750 a 2000, evoluindo da motorização na produção até a era da automatização e foi a partir da década de 2000 que ela rompeu mais uma etapa e está atualmente na quarta revolução industrial, o que a literatura tem conceituado como indústria 4.0, iniciada a partir da automação dos processos de fabricação (SANTOS et al, 2019).

Dos Santos et al. (2019) afirmam que a administração da produção de manufatura passou por seis períodos durante as três revoluções industriais. Santos et al. (2019) e Peinad (2007) tem descrições similares desses períodos: primeiro período – rompido pela 1ª Revolução industrial; segundo período – rompido por grandes incentivos às pesquisas por tentativas, erros e acertos; terceiro período – iniciado pelo amadurecimento da ciência da administração; quarto período – as empresas começam a utilizar ferramentas estatísticas e cada vez mais sofisticadas na gestão; quinto período – iniciado pela evolução da qualidade e excelência organizacional; e sexto período – rompido pela iniciação da abordagem das cadeias de suprimentos.

O mesmo marco que rompeu a evolução da indústria para a quarta revolução, foi marco para a sétima etapa da administração da produção, sendo este o início da utilização de recursos digitais avançados dentro das indústrias. Assim como os tipos de equipamentos das linhas de produção evoluíram, os operários estão com um nível de instrução mais elevado do que no início do século XIX. Por esse motivo, tornou-se necessário melhorar a maneira de gerenciar e administrar a produção. Assim, melhorar seu controle sobre a produção e sobre as pessoas que trabalham nas linhas operacionais, identificando as lacunas do processo, como falta de conhecimento adequado, proporcionando oportunidade de ganhos para as empresas que se estruturarem melhor (ZHANG et al, 2018).

No contexto da evolução das linhas de produção e da evolução dos operários, é normal se identificar a importância das abordagens de gestão e controle industrial, tais como descritos por Porter (2004, p. 133-184) de como organizar informações com técnicas analíticas são ferramentas críticas para elaboração correta dos quadros de indicadores da empresa. Norton e Kaplan (2019) indicam o uso de *Balanced Scorecard* (BSC) como ferramentas fundamentais para sucesso em sistemas e processos gerenciais, sendo acrescentado por eles que dentre os processos de administração, é fundamental que existam *Key Performance Indicator* (KPI), em português: Indicadores de Desempenho Chaves, para gerenciar qualquer negócio. Saber como está a ‘saúde’ dos equipamentos da linha de produção é uma informação muito importante a ser considerada, logo as informações oriundas do setor de manutenção podem ser elementos chaves na estratégia, mas o problema é como tratar essas informações, principalmente nas indústrias, devido a grande quantidade de dados. As medições de desempenho são importantes para apresentar informações financeiras e não-financeiras, daquilo que é realmente importante para a empresa, onde o centro das atenções é a estratégia e o valor, e não somente o controle (FISCHMANN; ZILBER, 2000). As informações sobre desempenho devem estar disponíveis a todos. Os antigos quadros de gestão à vista, que são muito úteis até os dias de hoje, estão sendo substituídos por *Dashboard* disponíveis nos computadores e em aplicativos de celulares através da internet com uma rapidez enorme (STEVAN JR. et al., 2018).

Neste cenário de mudanças, o gerenciamento e administração industrial, que tem o objetivo de maximizar o valor que o ativo é capaz de propiciar para a empresa, passou a ser referenciado como gestão de ativos, (LAFRAIA e HARDWICK, 2015; NOANTO e TAVARES, 2018). Sendo um ativo definido como um item, algo ou entidade que tem valor real ou potencial para a organização, assim como ser tangível ou intangível, financeiro ou não financeiro (norma ISO 55000, 2014). Os equipamentos da linha de produção de uma indústria são inclusos na categoria de ativos físicos, e como a norma e especificação são focadas nestes ativos, o termo ativo físico ficou adotado nas literaturas como simplesmente ativo.

O controle e monitoramento dos ativos físicos dentro da indústria já vêm sendo trabalhados na prática desde a terceira revolução industrial, como por exemplo em empresas mineradoras como a VALE e a Samarco (informação verbal)¹, assim como estudada por pesquisadores como Fischmann (2000) e Witkowski (2017). Na quarta revolução industrial essas práticas estão se fortalecendo pelo fato de estarem utilizando todo o sensoriamento e automação bem estruturado na terceira revolução (SANTOS et al., 2019), e também com o suporte proporcionado pelas Tools of Industry 4.0 (ToIndustry4.0). Tal termo, ToIndustry4.0, sinaliza algumas das principais ferramentas da Indústria 4.0 e foi elaborado pelos autores.

Um fato que impulsiona este avanço tecnológico rápido é que o acesso e o desenvolvimento das ToIndustry4.0 estão mais tangíveis a cada dia devido a redução dos valores de aquisição no mercado. Este avanço pode ser observado na prática pelo avanço tecnológico após a década de 2000 e também é abordado por Schwab (2016), quando trata como a quarta revolução industrial trará mais agitações que as anteriores por conta da alta velocidade das mudanças. Além disso, as pessoas podem contar com maior suporte técnico, facilitando a promoção, implantação e a integração de todos os setores da empresa, possibilitando de distribuição dos dados instantaneamente para os colaboradores (ILLA e PADHI, 2018). Uma justificativa pela qual os preços vêm se tornando menores é que o rápido avanço tecnológico na indústria 4.0 está sendo construído e distribuído utilizando as redes digitais criadas na terceira revolução industrial. O desenvolvimento destas redes digitais já foi onerado na época e hoje permitem a transferência de ideias com maior rapidez e facilidade, de forma que os produtos físicos se multipliquem muito mais rápidos (SCHWAB, 2018).

O estudo sobre a indústria 4.0 ainda é relativamente recente e ainda existe muito espaço para definições claras sobre os benefícios que ela traz às empresas (ARAUJO, 2016; DOS SANTOS, 2018). A realidade aumentada, que permite o usuário permanecer em seu ambiente e transportar a realidade virtual para este local (TORI et al., 2006), foi explorada por Aschenbrenner et al. (2016) em um caso de sucesso na aplicação de tecnologia de realidade aumentada usando um tablet Samsung² e óculos Epson³ em uma linha de produção, eliminando as instruções de papel. Quando os colaboradores estão usando os óculos a qualidade da imagem e a percepção de tela enorme torna a sensação de realidade ao virtual, além do fato de que a câmera, o giroscópio, o GPS e os outros sensores incorporados aos óculos permitem que o software perceba os movimentos humanos e o seu entorno. Desta forma, é possível melhorar a percepção da realidade ao aumentar o mundo físico real com os dados gerados por computador provenientes dos sensores através da realidade aumentada (EPSON, 2020). Além deste, outro estudo de caso feito por Meirelles e Diniz (2018) traz como uma empresa pequena de representações no Recife-BR teve um aumento de 20% de seu retorno financeiro, com a mesma carteira de clientes, utilizando IoT e *software Analytics* para conseguir ter uma equipe mais enxuta.

Esta pesquisa foi desenvolvida de forma a pesquisar estas ferramentas da Indústria 4.0 e propor diretrizes para que a Ternium Brasil eleve o seu nível de maturidade na implantação da Indústria 4.0, melhore sua capacidade preditiva e desenvolva uma melhor integração vertical e horizontal de seus processos.

¹ Informação fornecida em apresentações de trabalhos técnicos no 33º CBMGA – Congresso Brasileiro de Manutenção e Gestão de ativos – da ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção.

² Tablet Samsung Galaxy Tab 2, banda de 800 a 2100 MHz, sistema operacional e navegador Android. Fonte: www.samsung.com.br.

³ Óculos inteligentes transparentes binoculares, sistema operacional Android, conectividade Wi-Fi, Bluetooth 3.0 e Miracast (EPSON, 2020).

1.1 Problema de pesquisa

O desenvolvimento avançado da comunicação e informática impulsionam a globalização e tecnologia de forma rápida, o que inflige aos empresários e executivos a necessidade de se preparar e ter instrumentos gerenciais, técnicas e métodos para tomadas de decisões em tempo hábil e com mínimas possibilidades de erros (FISCHMANN, 2000).

As ToIndustry4.0 trazem benefícios às empresas, como por exemplo a facilidade de comunicação, agilidade em processos e aumento da confiabilidade dos mesmos devido ao uso de inteligências artificiais. Entretanto, todas estas ferramentas podem se desfocar dos objetivos estratégicos da empresa, de forma a se tornarem desperdícios de investimento, caso sejam motivados somente com base em modismos do mercado (SCHWAB, 2016). Um vasto campo para crescimento do conhecimento, por ter sido pouco explorado ainda, está em como estruturar um processo de implantação sistêmico destes controles e digitalização simples de dados, que foram estruturados na terceira revolução industrial, e como integrá-las as estratégias da empresa, de forma que estas ferramentas se tornem um fornecedor de informações para realizar decisões estratégicas. O impacto da quarta revolução industrial nos negócios tem um potencial para evoluir essa digitalização para modelos muito mais complexos com base na combinação de novas tecnologias (GANZARAIN E ERRASTI, 2013; SCHWAB, 2016).

A empresa multinacional de grande porte Ternium trabalha com diversas ferramentas de controle, que são descentralizadas nos departamentos, mas são fundamentais para que seja possível controlar e monitorar a produção. A Ternium, como a maioria das empresas, não vê essa descentralização como um problema e realmente não é, pois pode ser aplicado sem falir a empresa. Entretanto, a empresa que têm integração horizontal e vertical possui vantagens competitiva em relação as empresas que não tem (SCHWAB, 2018). A comunicação eficaz e direta entre todos os departamentos, desde a gestão ao chão de fábrica. Ou seja, a integração entre recursos humanos, gerenciamento de equipamentos, recursos materiais e ambiente, que proporcionam informações para o entendimento do processo interno de recebimento de ordens de serviços/produção e execução da produção é considerada a integração vertical. Enquanto a comunicação eficaz, direta e a conectividade nos departamentos de produção, mas também entre outras partes interessadas no processo, compartilhando informações do produto que influenciam na produção/execução destas ordens de serviço/produção, isto é, toda a cadeia de valor da empresa [ex: fornecedores e clientes], é considerada a integração horizontal da empresa (SCHWAB, 2018; STEVAN JR. et al., 2018; TAO e ZANG, 2017). A integração vertical se reflete na interação dos processos de produção, distribuição, vendas e outros processos tecnologicamente distintos dentro do ambiente da mesma empresa (PORTER, 2004). A integração vertical e horizontal dentro da empresa é uma referência considerável na medição do nível de maturidade da implantação da Indústria 4.0 de uma empresa, em conformidade com as diretrizes do modelo de avaliação da Acatech (SCHUH et al., 2020), que será mais detalhado mais adiante nesta pesquisa.

Na quarta revolução industrial as empresas que trabalham na implantação do conceito 4.0 buscam a conectividade e interação dos dados que são gerados em todos os departamentos. A transformação digital na Indústria 4.0 apresenta recursos para capacitar uma empresa a utilizar dados/informações para tomadas de decisão instantaneamente ou até em tempo real. Com este objetivo, geralmente as empresas usam os centros de dados para preservar os arquivos e a computação em malha realizar pesquisas analíticas (SCHWAB, 2018). Muitas empresas trabalham de formas diferentes ou em níveis de maturidade diferentes com relação à forma de utilizar recursos tecnológicos da indústria 4.0 e de fazer o gerenciamento industrial. As aplicações bem implantadas que definem em qual o nível de maturidade na implantação da Indústria 4.0 (SCHUH et al., 2020; SCHUMACHER et al, 2016).

Foi levantado, através do mapeamento sistemático e análise de conteúdo realizados nesta pesquisa, alguns problemas ou oportunidades de melhorias similares no ambiente industrial, mesmo em empresas que atuam em setores diferentes. As soluções aos problemas ou propostas de otimização podem melhorar a excelência da gestão de ativos na era da quarta revolução industrial. As principais oportunidades são:

- ✚ Falta de controle dos processos produtivos industriais.
- ✚ Falta de monitoramento e controle dos ativos.
- ✚ Falta de informação para planejamento estratégico.
- ✚ Dificuldade de ter o monitoramento da performance da empresa instantaneamente.

As empresas com uma maturidade representativa na implantação da indústria 4.0 são ágeis, se adaptam com facilidade às mudanças do ambiente, possuem integração vertical e horizontal sistêmica da produção na rede, visibilidade e previsão de eventos futuros (GÖKALP et al., 2017; MITTAL et al., 2018; SCHUH et al., 2020; SCHUMACHER et al, 2016; SCHWAB, 2018).

O grande desafio é como estruturar a implantação de processos que desenvolvam atributos como estes citados acima, estando essa estruturação dependente do nível de maturidade na indústria 4.0 que a empresa está.

Desta forma, com base no estudo sistemático, pesquisas bibliográficas e documentais sobre a avaliação de maturidade, realizados pelos autores desta pesquisa, foi identificado a necessidade de se construir um arcabouço teórico e prático que sustente ações sobre: **como elaborar um conjunto de diretrizes estratégicas, recorrendo-se ao suporte da Indústria 4.0, de modo a servir de um elemento integrador dos objetivos corporativos para a organização estudada?**

1.2 Justificativas

Toda empresa gera muitos dados no seu dia a dia, fato que vem aumentando exponencialmente na quarta revolução e a lei de Moore se aplica a outras tecnologias, como aponta o estudo feito pela Deloitte Consulting (2014). Saber trabalhar estes dados é uma vantagem fundamental para o sucesso (ZHANG et al, 2018). A necessidade da informação de qualidade se mostra um grande diferencial em momentos de crise, seja ela somente interna ou externa. Tomando como exemplo, o cenário da crise mundial causada pela pandemia da nova COVID-19, no início de 2020, onde problema de saúde que todos os países enfrentam geraram uma crise econômica e uma forçada redução da produção de várias indústrias, se observa um cenário delicado que exige uma tomada de decisão estratégica pela diretoria das empresas. A redução da produção de uma indústria diminui o tempo efetivo de operação das máquinas, gerando um tempo disponível para seu reparo. Por outra via, se existe a redução de produção imposta pelo mercado, a indústria tem uma redução de seu faturamento e necessita reduzir também o custo necessário para produzir seus produtos. Considerando o custo de produção como o somatório dos gastos com pessoas, matéria prima e manutenção da linha produção, a economia necessária acarreta diretamente disponibilizar menos recursos financeiros para realizar o reparo das máquinas. Neste contexto, algumas respostas para as questões abaixo são fundamentais nas tomadas de decisões estratégicas.

- ✓ Quais são as atividades mais críticas que não devem deixar de ser feitas pela equipe de manutenção na linha de produção?
- ✓ Qual o valor gasto no reparo das máquinas é o ideal para reduzir o custo da manutenção e aproveitar o momento de ter tempo disponível para realizar o reparo sem afetar as metas de produção? Qual o ponto de equilíbrio?

✓ Quais são as funções na empresa que geram mais valor agregado e retorno a empresa? Quais as funções mais estratégicas devem ser mantidas no caso de ter de reduzir o quadro de funcionários?

Normalmente é montado um comitê de crise para avaliar essas questões e as melhores decisões são tomadas com base em informações confiáveis que as respondem. As empresas que possuem um estruturado sistema de indicadores de desempenho já possuem, ou se espera que possua, as informações necessárias para tais respostas e conseguem reagir mais rápido no mercado, tendo diferenciais. Então, se a empresa conseguisse levantar informações que a ajudasse a prever situações de crise e tivesse maturidade suficiente para reagir com base nessas previsões, ela apresenta maior probabilidade de sucesso (SCHUH et al., 2020) e teria sempre esse diferencial perante seus concorrentes (PORTER, 2004).

1.2.1 Justificativas práticas

A grande oportunidade da quarta revolução industrial está em transformar toda a tecnologia em ferramentas que realmente elevem as organizações e a sociedade para patamares melhores. O avanço tecnológico na capacidade de processamento, armazenamento e transmissão de dados alterou muito a vida profissional e social das pessoas. Neste cenário, a missão que precisa ter maior relevância é projetar sistemas que utilizem os recursos da indústria 4.0 para oferecer às pessoas maiores possibilidades de opções, liberdade e controle, para que desta forma seja agregado valor a tomada de decisão e poder de ação das pessoas (SCHWAB, 2018).

No conceito expressado por Schwab (2018), um estudo que apoie as empresas a se situarem no cenário da indústria 4.0 e que identifique ferramentas para evoluir sua maturidade agregará grande valor. Alinhando este estudo a conceitos já bem difundidos como Porter, Norton e Kaplan sobre as vantagens que as empresas podem conseguir trabalhando de forma estratégica, o resultado esperado é uma otimização das ToIndustry4.0 para melhorar a gestão de ativos das empresas.

De forma resumida, a relevância prática desta pesquisa está em:

- ✓ Contribuir com um baseline de diretrizes estratégicas e táticas.
- ✓ Identificar melhores metodologias para avaliação de maturidade das empresas na implantação da indústria 4.0.
- ✓ Identificar melhores ferramentas para as empresas evoluírem na implantação da indústria 4.0.

Um diferencial para as organizações é ter um consistente planejamento estratégico e este se faz com informações confiáveis (PORTER, 2004). Entretanto, por experiência prática, muitas empresas cometem o equívoco de deixar o conhecimento da estratégia da empresa somente com a alta direção. A diretoria/gerência não transmite de maneira transparente essas informações para todos os setores, de forma que possa deixar todos alinhados com os objetivos estratégicos. Toda indústria se divide em diversos departamentos organizacionais, sendo os setores produtivos, o setor administrativo/financeiro, o de recursos humanos, o de suprimentos, o de tecnologia da informação, o de vendas e o de manutenção. Todos eles necessitam estar focados no mesmo objetivo estratégico da empresa, colaborando com a sua parte para cumprir as metas e garantir o sucesso e bons resultados (NORTON e KAPLAN, 2019).

A responsabilidade de realizar um desdobramento dos objetivos estratégicos da empresa faz parte das atribuições da liderança, mas esta ação muitas vezes não é bem sucedida. O líder pode não estabelecer metas coerentes, que não são monitoradas e tampouco controladas, faz com que os objetivos sejam dispersados ao longo do ano. Assim, as empresas precisam de trabalhar com informações confiáveis e ter controle de todos dados dos ativos da empresa, não

se restringindo aos ativos físicos, para alinhar o objetivo estabelecido pela governança corporativa com toda a empresa (NORTON e KAPLAN, 2019). Um departamento centralizado poderá ajudar a reduzir o custo indireto de uma empresa ao demorar para identificar a necessidade de alterar, ou somente melhorar, a estratégia que está adotada em função de uma ameaça ou oportunidade, por ter as informações da “saúde” de toda companhia sendo monitorada continuamente.

1.2.2 Justificativas teóricas

De forma resumida, a relevância teórica desta pesquisa está em:

- ✓ Contribuição com a teoria sobre o assunto indústria 4.0 e gestão estratégica, na identificação de lacunas nas pesquisas realizadas com base em um mapeamento sistemático e análise de conteúdo.
- ✓ Organização da teoria sobre indústria 4.0.
- ✓ Contribuição de conhecimento científico sobre a gestão de ativos (ISO 55000).
- ✓ Organização concatenada de estudos sobre indústria 4.0, nível de maturidade em indústria 4.0 das empresas e diretrizes estratégicas.

A velocidade atual (em 2020) com que as informações são geradas e trabalhadas é cada dia maior. Todos os processos empresariais geram dados durante sua execução, seja um departamento de RH ou uma linha de produção. Estes dados precisam ser compilados e trabalhados para gerarem informações úteis à empresa, pois está à frente no mercado aquelas empresas que têm mais informações e trabalham bem com elas. Nas épocas passadas, principalmente sendo considerado o período antes de 2000, o tempo disponível para a tomada de decisão era estável e pouco influenciável, mas com as mudanças tecnológicas e do mercado esse tempo e a tomada de decisão se tornou turbulento, instável e com necessidade de rapidez para se empreender com sucesso. Com tal velocidade de mudança, os processos de gestão estão ficando cada vez mais práticos e ágeis, devido a transformação digital, de forma que é possível perder conceitos fundamentais que podem apoiar sua sustentabilidade (DOS SANTOS et al., 2019).

As empresas que decidiram implementar a Indústria 4.0 precisam ter um processo de transformação digital implementado de forma estruturado em princípios adequados. Entretanto, o maior desafio é colocar esses princípios em prática, desenvolvendo as várias capacidades específicas descritas neste estudo (SCHUH et al., 2020). Essa pesquisa vai apoiar a teoria com um arcabouço técnico de qualidades e requisitos que argumentam diretrizes para a implantação de indústria 4.0, mas também será uma ferramenta prática para que as empresas possam ter um guia para introduzir a implantação da indústria 4.0 em sua gestão e estratégia.

1.3 Objetivos

Os assuntos sobre a quarta revolução industrial, a indústria 4.0, o uso de IoT na indústria, o gerenciamento industrial, os indicadores de desempenho, o sétimo período da administração da produção e a gestão de ativos físicos estão próximos, com base nas pesquisas bibliográfica e documental realizadas, na elaboração das estratégias empresariais.

O sucesso das empresas é facilitado quando se tem informações diferenciadas e se sabe como utilizá-las (PORTER, 2004). Outra dificuldade para as empresas é conseguir levantar, processar, correlacionar e tirar conclusões com informações corretas e de valor, que levarão a empresa a ter uma vantagem competitiva, pois o caminho errado pode induzir simplesmente a

execução de um elevado montante de investimento gasto de forma equivocada e causando perdas aos proprietários ou acionistas (NORTON e KAPLAN, 2019).

Com as dificuldades de gerar, monitorar e controlar os dados nas empresas de forma adequada, isto é, de forma que estes dados realmente agreguem valor, as empresas se favorecem em desenvolver a capacidade de organizar os dados para ter benefício com as ferramentas da indústria 4.0 e conseguir desenvolver um elemento integrador dos setores da empresa (SCHUH et al., 2020; SCHWAB, 2018). Desta forma, as empresas utilizam as ToIndustry4.0, que se tornaram mais acessíveis devido ao avanço propiciado pela 3ª revolução industrial, com o objetivo de alinhar os objetivos estratégicos por toda a empresa (SCHWAB, 2016) e facilitar o trabalho com gestão de ativos, que visa gerenciar os ativos da empresa com uma gestão de risco apropriada e que maximize o retorno que estes ativos podem gerar de valor para os acionistas (LAFRAIA e HARDWICK, 2015).

A proposta do estudo é pesquisar como as empresas estão atuando na quarta revolução industrial, como utilizam as ToIndustry4.0, identificar os benefícios atingidos e dificuldades na implantação, e também como elas estão conduzindo as avaliações de maturidade. A partir disso, elaborar um arcabouço de dados que direcionem as diretrizes para identificar as principais funções, atuações e entregas que o departamento idealizado deve ter para contribuir com a evolução da maturidade na implantação da indústria 4.0 na empresa.

Assim, o departamento se torna uma ferramenta integradora da governança estratégica e alta gerência com os níveis operacional, tático e estratégico da empresa, utilizando os recursos da quarta revolução industrial (indústria 4.0), monitoramento, controle, indicadores de desempenho e gestão de ativos.

1.3.1 Principal:

O principal objetivo desta pesquisa é **elaborar um conjunto de diretrizes estratégicas, recorrendo-se ao suporte da Indústria 4.0, de modo a servir de um elemento integrador dos objetivos corporativos para a organização estudada.**

1.3.2 Intermediários:

Os objetivos intermediários desta pesquisa são:

- i. Identificar soluções ToIndustry4.0 para gestão de ativos e estratégia empresarial.
- ii. Realizar uma contribuição teórica sobre avaliação de maturidade em indústria 4.0 nas empresas, a fim de estabelecer pré-requisitos mínimos necessários para a implantação do SBMO – *Strategic Business Manament Office*.
- iii. Identificar, com estudo bibliográfico sistemático, o estado prático das indústrias em relação às ferramentas computacionais, políticas e procedimentos utilizados no mercado com características de indústria 4.0 e registrados em pesquisas científicas.
- iv. Apresentar um arcabouço teórico, a partir de modelo mental com base em engenharia orientada a objetivos, para dar suporte às empresas na implantação da Indústria 4.0 com vistas a graus mais elevados de maturidade.
- v. Realizar prova de conceito do arcabouço proposto com paralelo à caso real da indústria.

A dissertação será estruturada em texto corrido, com um referencial teórico sobre indústria 4.0, tópicos de gestão estratégica e controle industrial. Seguindo de explicação da metodologia de pesquisa aplicada e os resultados atingidos. Encerrando a pesquisa com as conclusões finais, referências bibliográficas e apêndice.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

As referências teóricas que serão utilizadas como base a este estudo estarão focadas em autores que pesquisaram sobre governança e gestão estratégica na era da indústria 4.0, mas também em gestão empresarial, com foco em gerenciamento da produção, gestão de ativos e gestão da manutenção industrial; estratégia competitiva e administração da produção; abordando estes conceitos com métodos de pesquisas adequados e um mapeamento sistemático. Desta forma, todos estes trabalhos poderão basear os argumentos iniciais dos pesquisadores e direcionar os estudos para alcançar os objetivos da pesquisa.

2.1 A 4ª Revolução Industrial

No período histórico de 1750 a 2000 a sociedade passou por três revoluções industriais. Na primeira foi iniciado o uso de máquinas na produção, mudando a manufatura artesanal da época. Na segunda, houve a priorização da máquina a vapor, uso de combustíveis derivados de petróleo, mas também da energia elétrica, dando uma nova ênfase à produção em massa com base nestas facilidades. Na terceira, a indústria começa a trabalhar com a união da mecânica e elétrica na formação da automação e instrumentação industrial, para assim possibilitar maiores controles, facilitar a execução de tarefas e mudar a vida dos operadores nas indústrias (FRIEDL, 2018). A Figura 01 é uma ilustração descritiva desse período histórico.

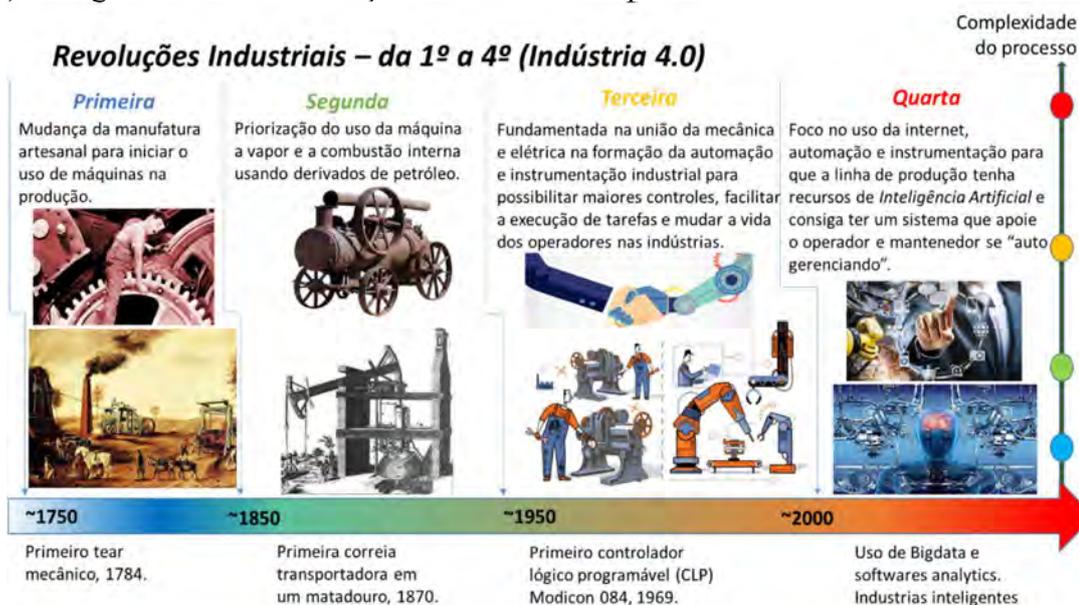


Figura 01: da indústria 1.0 para a indústria 4.0. Fonte: Adaptado de Friedl (2018).

A partir do final da década de 1990 para o início da década de 2000 foi iniciada a quarta revolução industrial. A indústria tem uma aceleração na implantação do sensoriamento das máquinas, avanços da automação e instrumentação, utilização da internet, o que fez com que as linhas de produção industrial atingisse outro patamar e a produção começasse a ser produzida com maior performance, tornando uma fábrica inteligente com a aplicação de tecnologias inteligentes de processamento de informações, sistemas de comunicação, técnicas orientadas para o futuro (YAN et al, 2017; FRIEDL, 2018; DOS SANTOS et al, 2019).

J.A. Schumpeter introduziu o conceito de inovação na literatura econômica em 1912, na época isso foi tratado como um fator no desenvolvimento econômico, e sua inclusão é considerada um clássico (WITKOWSKI, 2017), mas no âmbito da indústria 4.0 a inovação tecnológica e a transformação digital se transformaram em rotina cotidiana. A utilização na indústria de sistemas Ciber-Físicos possibilita a integração de processos computacionais com

físicos, de forma que os computadores em rede monitoram e controlam os processos físicos, mas recebendo informações dos processos físicos que afetam os dados, criando um loop de feedback sistêmico (ELMOAQET et al, 2018; SUN e HAO, 2017; WITKOWSKI, 2017;).

Os recursos tecnológicos das linhas de produção na Indústria 4.0 são fundamentais para essa nova revolução. A conectividade é um recurso crítico nesta era, evidenciando aqui o conceito de IoT, tendo a função de conectar sistemas computacionais diversos através da internet, e assim pavimentando o caminho para as fábricas de produção inteligentes e a transformação digital (ELMOAQET et al, 2018). Com todo esse loop de feedback entre os sistemas é gerado uma quantidade muito grande de informações e se faz necessário ter computadores mais sofisticados para conseguir processar todos esses dados, que são os chamados *Big Data*. A IoT trabalhando com a capacidade de Big Data, especialmente para a área de fabricação, tem um futuro promissor (ILLA et al, 2018).

2.2 Modelos de avaliação de maturidade para a indústria 4.0

Durante a terceira revolução industrial começou a ser desenvolvido modelos de avaliação de sistemas automatizados e computacionais para mensurar a sua maturidade de processos. Nos Estados Unidos, por volta de 1986, o departamento de defesa financia o desenvolvimento de uma ferramenta de avaliação de maturidade para melhorar a qualidade de seus processos de software, desenvolvendo então a *Capability Maturity Model*– CMM, que por volta de 2000 evoluiu para um modelo integrado, surgindo então o CMMI – *Capability Maturity Model Integration* (SILVA e BARBALHO, 2019). As principais origens dos modelos de maturidade estão na área de desenvolvimento de software, visto que eles são normalmente utilizados com o interesse de conceituar e medir a maturidade de uma organização em relação a algum estado-alvo específico e para avaliar a qualidade dos processos implementados em uma empresa. Outro exemplo relevante de tais modelos é o SPICE – *Software Process Improvement and Capability Determination* (SCHUMACHER e SIHN, 2018; STEFAN et al., 2018).

Os modelos de maturidade.

A partir da década de 2010 se inicia a concretização e forte utilização do termo indústria 4.0 no mercado industrial para descrever a ampla integração da tecnologia da informação e comunicação na indústria de manufatura (SCHUH et al., 2020). Neste contexto, muitas empresas, pesquisadores e divulgadores de informações nos meios de comunicações começaram a utilizar com maior frequência termos tecnológicos como *cyber-security*, internet das coisas, softwares *Analytics*, *Machine Learn* e *Big Data* em seu dia a dia (MITTAL et al, 2018; SCHUH et al., 2020; SCHUMACHER e SIHN, 2018) para descrever os novos conceitos criados e vêm sendo cada vez mais utilizados para tornar as fábricas mais inteligentes e alterando a maneira de como os produtos são manufaturados, além de auxiliar na otimização dos processos de planejamento e monitoramento da produção, de forma a buscar maior valor agregado ao produto e aos clientes (SCHUH et al., 2020). Na década atual (2020), é normal ver as empresas afirmam estar trabalhando na realidade da indústria 4.0 somente por modismo e interesse das nas propagandas de marketing.

Com a expansão generalizada da quarta revolução industrial, foi identificado a necessidade de desenvolver ferramentas para dar suporte a conceituação da indústria 4.0, a clarificação de uma metodologia de diversificação e orientações estratégicas para as empresas utilizarem. Desta forma, sendo proposto modelos de avaliação da maturidade das empresas na indústria 4.0 por muitos pesquisadores (GANZARAIN e ERRASTI, 2016; MITTAL et al, 2018; SCHUH et al., 2020). Essas ferramentas são importantes para que uma empresa consiga estabelecer onde ela se encontra no cenário da quarta revolução industrial, com base em uma metodologia bem estruturada. Para a empresa, é fundamental que ela tenha estabelecido quais

são os seus objetivos estratégicos para o futuro, as áreas nas quais ela tem interesse em agregar valor através da indústria 4.0, em que extensão ela pretende fazer isso e os indicadores que serão usados para medir a resultados (SCHUH et al., 2020).

Os estudos desenvolvidos por Silva e Barbalho (2019), descrevem que as empresas que possuem níveis mais elevados de maturidade realizam seus processos de forma bem estruturada, com uma documentação organizada e continuamente se aprimorando. Enquanto aquelas em estágios mais baixos tem grande dependência de pessoas e processos improvisados, falta de gestão eficiente de seus projetos e (geralmente) maiores custos de operação e manutenção.

Conceitualmente, quando se tem uma vitoriosa implementação da Indústria 4.0, o pessoal pode tomar decisões com base em sua experiência, mas também com base nas informações fornecidas pelas tecnologias atuais, no momento certo e no lugar certo (STEFAN et al., 2018).

2.3 BigD – *Big Data* – Base de dados 4.0

Na era da quarta revolução industrial, onde as empresas estão trabalhando perante dados massivos, a velocidade é vital para o sucesso. Com relação a Valor, o significado do *Big Data* (BigD) não é o grande volume de dados, mas sim o enorme valor. De forma generalizada, o *Big Data* define uma grande quantidade de informações, que são criados por fontes de dados que precisariam de muito tempo, e dinheiro, para serem armazenados e analisados de forma a gerar um enorme valor (QI e TAO, 2018).

Em função do nível de desenvolvimento atual dos sistemas Ciber-físicos (CPS), BigD, *Cloud* e redes industriais sem fio, é iniciado uma nova era de *Big Data* industrial. Além disso, o BigD e o modelamento digital favorecem o desenvolvimento da integração ciber-física da manufatura, sendo que o CPS é um gargalo importante para alcançar a fábrica inteligente e esta se revolveu orientadora e provocou uma mudança revolucionária (QI e TAO, 2018; XU e HUA, 2017; YAN et al., 2017; YAN et al., 2018).

Nas indústrias que estão implementando a Indústria 4.0, o BigD utiliza um grande volume de dados, coletados em tempo real, ou instantaneamente, de forma automatizada pela IoT, bem estruturados, semiestruturados e não estruturados, que são gerados a partir do ciclo de vida do produto e da linha de produção. Com o uso adequado do BigD e grande parte das empresas trabalhando com processamento em nuvem, as indústrias podem perceber os problemas, com sua causa e seu impacto, com antecedência. Além de identificar os gargalos nos processos de fabricação (QI e TAO, 2018).

A utilização do BigD nas indústrias para o processamento de sinais e mineração de dados de sistema industrial, geralmente, necessitam de técnicas avançadas, como por exemplo, a análise de frequência de tempo com o intuito de processar sinal de vibração mecânica com alto ruído de fundo, ou um algoritmo de otimização inteligente (YAN et al., 2017). O BigD também pode ser usado para identificar o desempenho do sistema avaliado e previsto por abordagens inteligentes (TUMAC, 2016). No estudo de Yan et al. (2017) é denominado uma característica de “5V” para o processo *Big Data* Industrial, devido ao fato, segundo os autores, da necessidade dele ter volume, velocidade, variedade, veracidade e valor, o que dificulta muito a utilização de técnicas tradicionais de processamento de sinal para analisar o *Big Data* Industrial (YAN et al., 2017). Essas características “5V” do *Big Data* Industrial tornam possível fornecer informações abrangentes e sistemáticas por meio de mineração de dados e descoberta de conhecimento. As tecnologias de mineração de dados são usadas para descobrir os defeitos no projeto do equipamento, defeitos no design do produto, condições de saúde do equipamento, defeitos de processamento de produção, comportamento da equipe e hábitos de trabalho, além de comportamento, hábitos e demandas do cliente (YAN et al., 2017).

Além disso, é possível reduzir o custo de produção e melhorar a qualidade do produto com a ajuda do conhecimento e das informações coletadas de humanos, máquinas, meio

ambiente e processo de fabricação (YAN et al., 2017). Por meio do circuito fechado ciberfísico, o modelo digital embasado em BigD tem a capacidade de alcançar a otimização de todo o processo industrial (QI e TAO, 2018). A aquisição e o pré-processamento de dados devem ser concretizados antes da análise dos dados, com o intuito de alcançar maior precisão de predição e o melhor uso de dados limpos. Então, o BigD é utilizado para conseguir a capacidade de *Deep Learn* [aprendizado profundo] para obter insight e conhecimento (YAN et al., 2018).

Como um exemplo de aplicação prática, Xu et al. (2017) propõe um método eficiente e com acurácia para elaborar um esquema de diagnóstico preditivo preciso de linhas de produção no contexto big data industrial e que pode ser facilmente adaptável a vários tipos de ambientes industriais. O procedimento consiste simplesmente na combinação inteligente de dados utilizando BigD para correlacionar análise de características nos dados das linhas de produtos de manufatura, análise de viabilidade de esquemas de aprendizagem profunda (*Deep Learn*) aplicáveis ao diagnóstico preditivo de linhas de produção, e os modelos de diagnóstico preditivo de linhas de produtos baseados em redes neurais profundas. A partir destes dados, analisar as compatibilidades eficazes e universais para modelar o padrão operacional e identificar desvios, diagnosticando os problemas e suas causas (XU et al., 2017).

O BigD é uma ferramenta muito estudada e explorada, tanto na teoria como na prática, na era da quarta revolução industrial, pois está diretamente envolvida na implantação da Indústria 4.0.

2.4 Cultura estratégica competitiva

O termo estratégia está sendo utilizado deliberadamente pelos gerentes atuais, mesmo que ele já venha sendo estudado a muito tempo, e ela vem se tornando ponto alto na rotina dos executivos (MINTZBERG, 2009). Entretanto, observa-se uma evolução do pensamento estratégico, passando das prescrições deliberadas para a análise na busca por vantagem competitiva, como foi descrito por Michael Porter (2004), e posteriormente foi abrangendo os conceitos de geração de valor com base nos recursos da organização para proporcionar sustentabilidade. Permanecendo na descrição da evolução conceitual da estratégia, vem sendo parte dos estudos e práticas a perspectiva institucional, elevando o debate sobre a transformação da intenção da organização, com base na política do negócio, em ação realizada, isto é, a estratégia na prática (ABDALLA, 2019). A estratégia deve ser um comportamento consistente que é realizado ao longo do tempo. Com esta ideia, pode ser evidente que uma estratégia bem-sucedida precisa ser enraizada na cultura da empresa e valorizada por todos (MINTZBERG, 2009).

Collis et al. (2001) descrevem que as mais bem sucedidas estratégias corporativas estão suportadas por três bases principais, sendo elas a vantagem competitiva, a coordenação e o controle. Os executivos que possuem estratégias excelentes trabalham para terem recursos de qualidade, se posicionarem fortemente no mercado e nos setores mais atraentes para a empresa. Além disso, possuir uma organização administrativa eficiente, sendo todas estas bases bem alinhadas. Maximizando a utilização de seus recursos a empresa se coloca com uma grande vantagem competitiva. Outro ponto importante é que trabalhar a configuração de uma organização para alavancar seus recursos para diferentes negócios possibilita captar a sinergia e agenciar a coordenação. Fechando o ciclo, é necessário manter o controle adequado para que não se perda o foco da organização. Collis et al. (2001) expuseram este conceito em um triângulo que está ilustrado na figura 2.



Figura 02: Triângulo da estratégia competitiva. Fonte: Collis et al. (2001).

O conceito de interação não pode estar isolado no corpo diretivo das empresas, eles precisam ser um valor e estar disseminado com de forma cultural na organização. A cultura de uma empresa pode ser uma fonte de vantagem competitiva sustentável se essa cultura for valiosa, rara e imperfeitamente imitável, contribuindo para a estratégia da empresa tenha, mesmo que em última análise, a suas circunstâncias particulares refletidas em sua solução customizada (BARNEY, 1986; GONÇALVES, 2014; PORTER, 2004). Esse raciocínio sugere que, se as empresas podem modificar suas culturas para melhorar seu desempenho financeiro, essas modificações podem, a longo prazo, gerar apenas retornos econômicos normais. A cultura organizacional geralmente é definida como um conjunto complexo de valores, crenças, suposições e símbolos que definem a maneira pela qual uma empresa conduz seus negócios. Nesse sentido, a cultura tem efeitos difundidos em uma empresa porque a cultura de uma empresa não apenas define quem são seus funcionários, clientes, fornecedores e concorrentes relevantes, mas também define como a empresa interagirá com esses *stakeholders* (BARNEY, 1986). Apesar de existir pouca concordância sobre a definição de cultura organizacional, quando se fala sobre desempenho financeiro superior sustentado é observado um acordo mais amplo. Em microeconomia, o desempenho financeiro das empresas é dividido em três categorias: desempenho normal, desempenho superior e desempenho abaixo do normal. O desempenho econômico normal é a taxa de retorno dos investimentos de uma empresa, grande o suficiente para manter os ativos dessa empresa envolvidos em suas atividades atuais. A linguagem da teoria organizacional de McKelvey (1982), explica que um retorno normal é um retorno suficientemente grande para garantir a sobrevivência de uma empresa. Em termos técnicos, como descrito por Copeland e Weston (1979), um retorno normal é a taxa de retorno esperada de uma empresa em mercados perfeitamente competitivos. A taxa de retorno superior no retorno normal é definida como desempenho financeiro superior e indica que uma empresa está prosperando. Abaixo do desempenho financeiro normal, há uma taxa de retorno insuficiente para manter os ativos de uma empresa envolvidos em suas atividades atuais. As empresas que obtêm esse nível de retorno por um período relativamente longo geralmente não sobrevivem (BARNEY, 1986).

2.5 Posicionamento estratégico

A empresa que trabalha com um adequado levantamento de dados, os processa para transformá-los em informações relevantes, e mantém este controle e monitoramento como uma rotina, tem uma vantagem competitiva sobre seus concorrentes, por ter conhecimento preciso sobre suas capacidades (TEECE, 2016). Para este fim, as empresas procuram buscar a cada dia

recursos que facilitem a mensuração destes dados e sua compilação. Desta forma, é notório no mercado a relevância da inovação. A importância deste assunto no meio acadêmico e profissional ficou evidente na argumentação de Spender et al. (2017), que fez um mapeamento sistemático sobre a inovação aberta e como este assunto estimula *startups* a desenvolverem soluções inovadoras. Ferramentas que facilitam o controle de dados estão a cada dia mais acessíveis na atualidade devido a velocidade que a tecnologia evolui na quarta revolução, um ritmo exponencial (SCHWAB, 2016). Estamos na “era da informação”, que dá suporte e direcionamento para todas as empresas na indústria 4.0. As empresas que se enquadram no conceito de indústria 4.0, procuram estar utilizar os recursos de IoT, *Big Data*, *Analytics*, *Machine Learn* e outras ferramentas da atual tecnologia da informação para terem dados e análises instantaneamente ou até mesmo em tempo real, e sem a inovação isso seria provavelmente impossível. Além de que, as empresas percebem e gerenciam seus ativos de forma diferente com essas novas tecnologias e os seus produtos e serviços são mais valorizados com a melhoria dos recursos digitais (SCHWAB, 2016).

A maioria das empresas que trabalham no conceito de indústria 4.0 atuam em um cenário de mudanças rápidas, mas nos dias atuais, principalmente após a década de 2010, todas as empresas vivem um cenário de constantes mudanças. Assim, a capacidade de inovar é um diferencial para as empresas se manterem competitivas. Quando se faz referência ao desempenho da inovação, fica entendido aqui como a relação existente entre a definição de inovação e sua aplicação ao conceito de desempenho, que resulta na qualidade e quantidade de ideias e assim como na eficiência e eficácia de sua implementação. O desempenho da organização precisa ser a capacidade da organização de atingir seus objetivos usando seus recursos da melhor maneira possível (SPENDER, 2017).

Conforme a empresa vai aumentando sua maturidade e autoconhecimento, a importância relativa das inovações no processo vão crescendo, da mesma forma que cresce sua capacidade de elaborar projetos de seus produtos e logísticas para facilitar a fabricação e elaborar controles com custos mais baixos. Em diversas indústrias, os custos unitários são reduzidos à medida que elas vão ganhando experiência no processo de fabricação, distribuição, comercialização de seus produtos e controle sobre seus processos. Entretanto, a capacidade de inovação nos métodos de controles e processos de fabricação tem uma influência muito grande na estrutura da organização. As inovações são responsáveis pela intensidade do processo em necessidade de capital, variar a economia em escala, alterar a proporção dos custos fixos e a integração vertical da empresa, e outros processos internos – tudo isso tem influência na estrutura da indústria (PORTER, 2004).

As empresas precisam ter uma “agilidade organizacional”, que é repetidamente tratada como uma qualidade imutável e ficando implícito que as empresas necessitam estar em constante estado de transformação. Entretanto, esse conselho ignora que mudanças e transformações, embora muitas vezes sejam essenciais, têm custos e que nem sempre são necessários. Para que isto seja bem sucedido, as empresas necessitam conhecer sua estrutura e capacidade dinâmica de inovação (TEECE et al, 2016). O uso de Tecnologias da Informação pode ser uma forma de melhoria e aperfeiçoamento da capacidade de inovação de uma organização.

Nesse cenário, as organizações precisam compreender as mudanças estratégicas e processuais necessárias para os seus empreendimentos conseguirem alavancar a sua capacidade de inovação. Com a finalidade de alcançar inovação e, em consequência disso, ter vantagem competitiva a organização necessita obter informações sobre seus processos, o mercado e seus clientes. Com base nesta necessidade, passou a ser estudado a capacidade dinâmica das empresas, onde se define que a capacidade dinâmica de uma empresa governa como ela integra, constrói e reconfigura suas competências internas e externas para lidar com os ambientes de negócios em constantes mudanças (PEDRON et al, 2018).

2.6 Gestão e Controle Industrial

Na industrial de manufatura, Kardec e Nascif (2013), descrevem o ciclo de vida dos ativos em sete fases: projeto, aquisição, fabricação, instalação, comissionamento, operação e manutenção. Entretanto, a especificação PAS55 e a norma ISO 55000 usam quantidades de fases diferentes, agregam mais uma fase, para abordar essas atividades, a venda ou renovação. Assim, a maior parte da vida útil dos ativos físicos está em operar e manter os equipamentos. Por isso que o gerenciamento industrial trabalha para garantir a função dos equipamentos, isto é, para que eles produzam aquilo para o qual foram projetados, no desempenho especificado (KARDEC; NASCIF, 2013). Esse gerenciamento industrial com foco em maximizar os ativos, quando suportado pela gestão de ativos, tem um alinhamento com os objetivos da quarta revolução industrial, que tem uma visão de propiciar maior flexibilidade na fabricação, junto com a personalização em massa, melhor qualidade e maior produtividade. A fábrica inteligente proposta na indústria 4.0 é permissível através das informações avançadas e das tecnologias de fabricação para obter processos de fabricação flexíveis, inteligentes e reconfiguráveis, a fim de abordar um mercado dinâmico e global (ZHONG et al, 2017).

Para os autores Lee, Kao e Yang (2014), o uso de uma grande quantidade de equipamentos automatizados, sistemas ciber-físicos (CPS – *Cyber Physical Systems*) e a aplicação da internet das coisas (IoT - *Internet of Things*) na área industrial é uma das características das empresas que tem o objetivo de serem fábricas inteligentes. Entretanto, para manipular a grande quantidade de dados gerados, se faz necessário mais investimentos em grandes bases de dados, chamados na indústria 4.0 de *Big Data*, e também softwares para gerenciar estas informações, os softwares denominados como *Analytics* (LEE et al., 2014).

As empresas de manufatura têm em sua linha de produção uma quantidade considerável de sensores e softwares de automatização com a finalidade de facilitar e agilizar a produção. As ferramentas de IoT estão a cada dia aumentando a conexão dos empregados das indústrias com informações do chão de fábrica de forma instantânea e controles de produção online (ASCHENBRENNER, 2016). Com todos os dados que as empresas geram a equipe de tecnologia da informação está sendo obrigada a trabalhar com grandes volumes de dados, usando *Big Data*. Assim como trabalhar com um avançado sistema de gestão inteligente da segurança da informação (WITKOWSKI, 2017).

Os assuntos relacionados a categorização da administração da produção em períodos e o aparecimento da Indústria 4.0 são temas relativamente recente nas literaturas de administração. As revoluções industriais estão sendo estudadas a mais tempo e as revoluções da administração também estiveram presentes desde o mesmo período, mesmo que ela tenha tido mais enfoque após a década de 80, com os avanços nas linhas de produção japonesas (DOS SANTOS et al, 2019). Santos (2019) ressalta como a nova fase da revolução administração da produção está vivendo seu sétimo período, que se iniciou juntamente com a quarta revolução industrial, descrevendo de forma clara como a área de gestão e administração está sendo influenciada pelo avanço tecnológico.

As normas de gestão de ativos (NBR-ISO 55000, 2014) e a gestão de risco (ISO 31000:2009) esclarece de maneira aparente como as indústrias estão buscando realizar uma gestão organizada dos dados e informações estratégicas, por toda a organização, controlando os riscos operacionais. Com o avanço tecnológico que vivemos na década de 2010, a forma de manusear e gerar estes dados foi facilitada. Ismael dos Santos et al (2019), aborda como esse avanço tecnológico trouxe as empresas a uma quarta revolução industrial e como estão sendo absorvido pela administração da produção.

Os recursos que são usados no final desta década de 2010 estão criando um acesso a dados de forma prática e a divulgação destes dados está muito rápida. O autor Krzysztof (2017) argumenta que IoT e Big Data estão hoje sendo motores da Indústria 4.0 e as empresas atuando com estes padrões estão tendo bons resultados.

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

Essa pesquisa aprofundará o conhecimento, de forma metodológica, sobre como estruturar diretrizes para empresas melhorarem a maturidade na implantação da indústria 4.0 através da centralização da informação em um departamento de monitoramento e controle – SBMO – *Strategic Business Manament Office*. Esse trabalho será organizado com base teórica de estudos realizados por outros pesquisadores, mas também com dados práticos retirados da empresa Ternium, que permitiu a investigação. Desta forma, este trabalho fundamenta as diretrizes para orientar quaisquer empresas à:

1. **Identificar “onde estão?”** – para saber responder qual é o cenário que a empresa se encontra dentro do contexto da indústria 4.0, utilização de indicadores de performance e gestão de seus ativos. A partir da maturidade atual das empresas, elas possam saber onde estão e para onde podem ir para ter uma maturidade exemplar.

2. **Planejar o “como fazer”** – Estabelecer um catálogo de atributos que as empresas que têm uma expressiva indústria 4.0 implantada possuem em comum, gerando questões e respostas que direcionam as empresas no caminho do desenvolvimento. Estes atributos serão a base para desenvolver as diretrizes que suportarão a empresa a desenvolver o seu plano diretor de evolução na indústria 4.0.

3. **Justificar o “por que fazer”** – desenvolver argumentação que justifique os ganhos que a empresa terá, com base em estudos de casos de sucesso identificados na revisão bibliográfica e com a validação do artefato desenvolvido através de comparação e prova de conceito realizada com os dados da Ternium. Um artefato pode ser considerado como algo criado pelas pessoas com um objetivo prático. Dentro da *Design Science* e na área de estudos sobre engenharia de software e sistemas de informação, alguns exemplos de artefatos são algoritmos, métodos, notações, técnicas e até mesmo estruturas conceituais. Eles são utilizados no projeto, para desenvolver, implementar, manter e usar sistemas de informação e sistemas de software. Um artefato interage com um contexto que, junto com outras coisas, contém pessoas (WIERINGA, 2014).

O processo de estruturação proposto utilizará uma metodologia de pesquisa adequada para uma prova de conceito e comparação do modelo teórico, embasado em fundamentos teóricos de gestão estratégica, sistemas de indicadores, Balanced Scorecard (BSC), Mapas Estratégicos, Gestão de Ativos, ferramentas de Gestão de Tecnologia da Informação e Engenharia de Manutenção, com a realidade prática da empresa Ternium Brasil.

3.1. Delimitação da pesquisa

A pergunta se direciona para empresas de médio a grande porte, isto é, aquelas com faturamento anual acima de R\$ 360.000,00 (trezentos e sessenta mil reais), visto que a constituição brasileira, lei complementar nº 123, de 14 de dezembro de 2006, define que empresas com faturamento abaixo deste valor são consideradas como pequena a micro empresa. Essas empresas possuem um EBTDA – sigla de *Earnings before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization* – traduzindo, Lucros antes de Juros, Impostos, Depreciação e Amortização, mais expressivos no mercado, com um volume de produção elevado e que movimentem altos valores em seu fluxo de caixa, pelo fato de terem um faturamento maior, assim como custos de produção também elevados, e com maior necessidade de controle e monitoramento. Entretanto, a questão está em como estruturar um novo departamento, pois uma vez estabelecido o método, ele pode ser usado por empresas de qualquer tamanho.

A delimitação acima está relacionada ao objeto de estudo. A pesquisa foca uma dimensão temporal da desenvoltura das empresas depois de 2010, quando começou a ser utilizado o termo Indústria 4.0 pela Acatech, na Alemanha, mas buscando pesquisar artigos de transformação

tecnológica que antecedem este período, identificando estudos desde 1994. Desta forma, a delimitação temporal foi estabelecida de 1994 aos tempos atuais, 2021.

A delimitação geográfica não foi estabelecida, buscando a atuação em todo o mundo, mas a pesquisa se limitou a avaliar estudos publicados na língua inglesa e portuguesa. Entretanto, o objeto de estudo prático, a Ternium, está estabelecido na América Latina.

3.2. Natureza da pesquisa

A pesquisa terá principalmente uma abordagem de perfil qualitativo, visto que se enquadra na visão de Creswell (2014), onde o assunto envolve mais a natureza interpretativa da investigação e considera a interação presencial dos pesquisadores nos relatos que eles apresentam.

A pesquisa terá também uma avaliação com análise quantitativa, usando um mapeamento sistemático como base principal e buscando ferramentas que sejam aplicáveis para ter o melhor resultado sobre o assunto. Este será o gerador de informação importante para direcionar o processo de reestruturação proposto com o objetivo de responder a pergunta de pesquisa principal deste trabalho.

3.3. Tipo de abordagem qualitativa

A pesquisa desenvolvida terá uma base epistemológica baseada no *Design Science*, cujo objetivo é trabalhar com tudo que é projetado pelo homem, e assim ela também ficou reconhecida por ser a ciência do artificial (HEVNER, 2010). Ela terá também um caráter exploratório, visto que ela tem objetivo de tornar a oportunidade (problema) proposta mais explícita e também elaborar hipóteses mais objetivas e intuitivas.

O *Design Science Research* foi o método de pesquisa optado, visto que ele é um tipo de pesquisa meta-teórico, dentro da base epistemológica *Design Science*, que cria conhecimento abordando como as pesquisas de caráter científico podem ser construídas através de métodos de concepção de artefatos, estruturando a pesquisa científica com base tecnológica para soluções de problemas (BAX, 2017; HEVNER, 2010, WIERINGA, 2014).

O planejamento da pesquisa foi estruturado da seguinte forma:

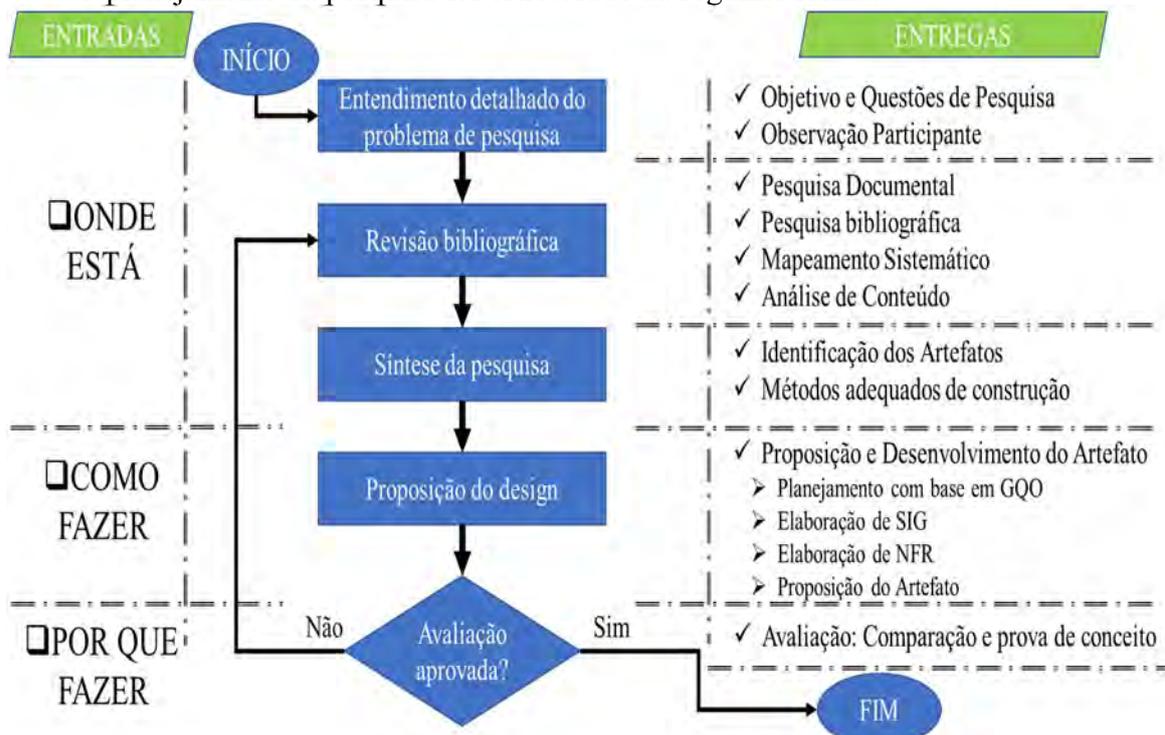


Figura 03: Etapas da pesquisa. Fonte: traduzido e adaptado de van Aken et al. (2009).

3.4. Etapas da Pesquisa

A pesquisa foi planejada de forma que a organização das atividades executadas e suas respectivas entregas, isto é, o produto de cada ação, orientem a utilização do método proposto. Desta forma, as etapas foram organizadas conforme a figura 3, seguindo o modelo sugerido por van Aken et al. (2009).

O processo prevê atividades de verificação, conforme exposto no fluxograma da figura 03. Todavia, este fluxo não é uma regra rígida e tem intuito orientativo somente, permitindo o retorno ou avanço às fases do processo sempre que os autores perceberem a necessidade (van AKEN et al., 2009).

3.4.1. Etapa 1 – Planejamento e Entendimento detalhado do problema de pesquisa

Nesta etapa inicial será desenvolvido uma análise crítica da oportunidade de melhoria identificada pelos autores em campo, com base em sua experiência, e para tal será tomado referências de métodos estruturados de análise e solução de problemas, como o sugerido por Marcondes et al (2017).

Esta análise prática será seguida de uma análise de conteúdo. A análise de conteúdo será importante, visto que ela é uma técnica valorizada para o tratamento de dados com o objetivo de identificar o que está sendo dito a respeito de determinado tema (VERGARA, 2005).

3.4.2. Etapa 2 – Revisão bibliográfica

O trabalho será desenvolvido a partir dos resultados do mapeamento sistemático. Uma análise teórica de literatura relacionada a como ter sucesso em gestão de grandes indústrias com uso de ferramentas digitais e automatizadas. Buscando assim, sintetizar conceitos utilizados de diversos autores, assim como em estudos de casos publicados sobre o assunto.

3.4.2.1. Etapa 2.1 – Mapeamento Sistemático

O mapeamento sistemático é um mecanismo de revisão bibliográfica que produz como resultado a visão geral de um tópico de pesquisa (CARVALHO et al, 2017). As informações sobre um tópico específico vêm da agregação de todos os estudos empíricos que já foram feitos sobre o assunto. Esta metodologia procura sempre ser mais imparcial possível, auditável e repetível (KITCHENHAM, 2010).

Para elaboração do método de mapeamento sistemático do conteúdo foi feito uma revisão de literatura e análise de conteúdo (que acompanha a pesquisa em praticamente todas as etapas) sobre o tema. Como resultado foi escolhido a metodologia proposta por Carvalho et. al. (2017), por ser mais bem avaliado em organização e estrutura. Com o resultado encontrado no mapeamento foi possível entender o estado da arte sobre indústria 4.0 na área de gestão de ativos.

3.4.2.2. Etapa 2.2 – Análise de conteúdo

Os artigos mapeados sistematicamente identificam “boas práticas” e lacunas dentro das pesquisas trabalhadas no tema de indústria 4.0 e gestão de ativos. Com base nestes dados qualitativos e quantitativos, será realizado uma análise de conteúdo, utilizando o método proposto por Bardin (1977), para proceder com uma revisão de literatura pertinente ao problema de investigação desta pesquisa, a fim de fazer uma orientação teórica que dará suporte ao estudo.

Nesta etapa será feito uma leitura crítica do material levantado durante o mapeamento sistemático, elegendo os correlatos com a reorganização de estrutura organizacional, usos das ToIndustry4.0 para organização de dados nas pesquisados sobre indústrias de manufatura e

gerenciamento de ativos, para buscar a definição das suposições da pesquisa até a fase de proposição do design, onde será feito a proposição e desenvolvimento do artefato.

3.4.3. Etapa 3 – Síntese da pesquisa

Os instrumentos de coletas de dados seguirão um paradigma de pesquisa qualitativa sobre o assunto. Quanto aos fins a pesquisa será descritiva e explicativa. A pesquisa seguirá meios bibliográficos e com análises de estudos de casos publicados por terceiros.

Nesta etapa será desenvolvido uma descrição de como um novo artefato deve suportar soluções para a elaboração das diretrizes do SBMO de forma inovadora. Assim estando incluídos nos recursos previstos para isso a inclusão do conhecimento dos problemas e das soluções atuais, procurando também entender a sua eficácia. Inferindo racionalmente os objetivos a partir da especificação do problema (HEVNER, 2010).

Assim, ao final desta etapa será entregue uma síntese entre o problema de pesquisa proposto e o planejamento para a elaboração do artefato proposto.

Aqui o desenvolvimento será estabelecer como as empresas podem identificar onde elas estão na implantação da indústria 4.0, com a avaliação da maturidade proposta pela Acatech (2020). Este procedimento de avaliação é o mais completo e simplificado método de avaliação encontrado nas pesquisas realizadas, conforme demonstrado no quadro 5, da seção 4.4.1 – Definição da abordagem.

3.4.4. Etapa 4 – Proposição do design

Quando se executa um projeto de engenharia é necessário que ele seja aprovado por outro corpo de engenharia junto ao autor do projeto ou mesmo, sendo possível, validado com testes. Muitas vezes essa validação consiste em investigar os efeitos interação entre um protótipo de um artefato e um modelo contextualizado do problema, assim como fazer uma comparação com os requisitos do tratamento. O objetivo disto é fazer uma previsão do que aconteceria se o artefato fosse implementado (HEVNER, 2010; WIERINGA, 2014).

Para proposição do artefato será adotada uma metodologia utilizada na engenharia de software para determinação de funcionalidades complexas, que apresenta uma organização de atributos (qualidades) e uma interrelação entre elas, desempenhando um papel crítico no desenvolvimento de um diagrama de questões padrões, e caracterizando as alternativas / respostas para implementações finais, buscando um catálogo de NFRs – *Non-Function Requirements Framework* (CHUNG et al., 2000; CAPPELLI, 2009; LEAL et al., 2015).

3.4.5. Etapa 4.1 – Definição da abordagem

Sendo o método de *Design Science Research* utilizado com foco na solução de problemas práticos, ele segue padrões existentes na maioria dos processos de análise e melhorias apresentam. Um ciclo, como o processo solução de problemas, que se inicia na identificação do problema, se planeja, age, monitora e avalia a sua eficácia (TRIPP, 2005). Esse modelo cíclico da investigação-ação é ilustrado na figura 4.

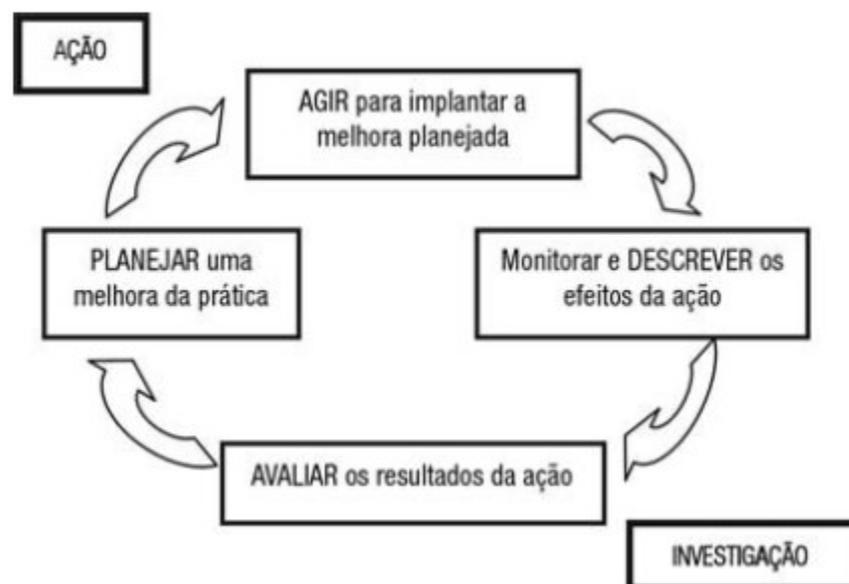


Figura 04: Representação em quatro fases do ciclo básico da investigação-ação. Fonte: TRIPP (2005).

Partindo deste princípio, o planejamento aqui também abordou os dados necessários para a implantação do departamento SBMO, que deverão estar nas diretrizes propostas nesta pesquisa. Assim, estipulando as premissas e requisitos mínimos que a empresa necessita para iniciar o projeto de implantação do departamento. O SBMO será operacionalizado com base nas ToIndustry4.0 e, sendo assim, necessita de certo nível de inserção da empresa no contexto da quarta revolução industrial, que será mensurado com a identificação da maturidade da empresa na indústria 4.0.

Foi pesquisado os diversos modelos de maturidades aplicados a realidade das empresas dentro da indústria 4.0 e avaliado que também é possível que elas se beneficiem de forma significativa com a realização de uma análise sistemática e integrada de sua transformação digital individual, focada no cumprimento de seus objetivos corporativos (SCHUH et al., 2020).

Como exemplo de modelos de maturidade, Gökalp et al (2017), pesquisou e se aprofundou em sete modelos identificados com demasiada relevância. Com sua análise foi comparado suas características de escopo, objetivo, completude, clareza e objetividade a fim de desenvolver o seu próprio modelo.

O modelo de Gökalp (2017), que reconhece que transformações satisfatórias acontecem e etapas, resulta na formulação de um roteiro para todas as áreas relevantes, com um procedimento detalhado para alcançar os benefícios, que reduzem os riscos de investimento e implementação para a organização. O conteúdo deste modelo é baseado em uma sucessão de estágios de capacidade, desde os requisitos básicos da indústria 4.0 até a implementação mais abrangente, que ele descreve como “completa”. Desta forma, existe uma evolução entre os estágios, que é sempre dependente do avanço do estágio anterior. A figura 5 é uma ilustração deste modelo, onde a maturidade da Indústria 4.0 possui seis níveis de capacidade, que os atributos de aspecto são definidos para cada nível e são desenvolvidos com base na ISO 33003: Avaliação de Processo – Requisitos para Estruturas de Medição de Processo.



Figura 05: Dimensões de capacidade na Indústria 4. Fonte: traduzido e adaptado de Gökalp et al. (2017).

3.4.5.1. Etapa 4.2 – Elaboração do SIG (*Softgoal Interdependency Graph*)

Depois de entendido o problema, etapa do planejamento, o próximo passo será seguido usando a método GQO (*Goal Question Operationalization* – Operacionalização de Questões - Objetivo), sendo este método uma adaptação contida no trabalho de Supakkul (2010) do método GQM (*Goal Question Metrics* – Métricas de Questões Objetivos), sendo este um método tradicional e disseminado na área de engenharia de software e utilizado para buscar metas e perguntas para serem motores da busca as métricas adequadas para serem coletadas (LEAL et al., 2015).

Nesta etapa será iniciado o desenvolvimento do artefato com a elaboração de um SIG (*Softgoal Interdependency Graph* – Gráfico de interdependência de Objetivos), que será a principal estrutura do artefato para direcionamento na elaboração dos diagramas de perguntas padrões (DQP) com as NFRs. Um SIG é um catálogo proposto em visualização gráfica para as metas/objetivos disposto com duas interdependências (CHUNG, 2012). Ele é uma maneira de estruturar e registrar o *framework*, de forma a representar, de forma gráfica, as dependências entre as características de qualidade e suas operacionalizações. Desta forma, é possível identificar as relações de vinculação entre os elementos e suas contribuições (CAPPELLI, 2009).

3.4.5.2. Etapa 4.3 – Elaboração do catálogo de maturidade da indústria 4.0

Na engenharia de software, os sistemas de softwares têm sua complexidade definida por sua funcionalidade, por seus atributos e requerimentos globais no seu desenvolvimento, e outras qualidades, como por exemplo a performance, custos operacionais, confiabilidade e manutenibilidade. Uma forma pragmática e sistêmica de trabalhar a qualidade da construção dos sistemas de software é possibilitada pelas NFRs, que se demonstraram fundamentais na de desenvolvimento (CHUNG et al., 2012).

Em geral, as NFRs são representadas em forma gráfica, em diversos estudos exposta por estrutura de árvore, formando os diagramas de questões padrão (DQP), assegurando os *softgoals* de forma a orientar o refinamento e interligar a composição das relações entre os atributos, dando suporte a decisões e determinando o impacto no desenvolvimento do software (CHUNG et al., 2012). Nesta pesquisa, as NFRs e DQPs serão usados no estudo do problema.

Uma caracterização básica para o tratamento sistemático das NFRs pode ser feita orientada ao produto ou orientada a processos, podendo então ser aplicada em diversos cenários (CHUNG et al., 2012; LEAL et al., 2015). Sendo aplicado também ao desenvolvimento e melhorias de processos empresariais.

3.4.5.3. Etapa 4.4 – Definição do modelo com as diretrizes

Desta forma, esta pesquisa fará um desenvolvimento de NFRs da árvore SIG para desenvolver na metodologia GQO o artefato do Design Science Research como um catálogo dos atributos de maturidade da indústria 4.0, utilizando o modelo de avaliação de maturidade da Acatech proposto por Schuh et al. (2020). De forma a evidenciar o valor do proposto departamento de monitoramento e controle idealizado no problema desta pesquisa, a metodologia de desenvolvimento trabalhará somente no atributo de capacidade preditiva.

Através deste catálogo será definido as atribuições que serão recomendadas para a empresa trabalhar e desenvolver a maturidade na indústria 4.0, com uso de um departamento que utiliza as ToIndustry4.0.

3.4.6. Etapa 5 – Avaliação do artefato

A questão de pesquisa fundamental deste trabalho é: “elaborar um conjunto de diretrizes estratégicas, recorrendo-se ao suporte da Indústria 4.0, de modo a servir de um elemento integrador dos objetivos corporativos para a organização estudada?” Ao final da pesquisa, a etapa de avaliação será realizada com a intenção de validar que os objetivos estão sendo atingidos.

A proposta é que com foco de estruturar as diretrizes para que o tal departamento SBMO terá a função de 1) suportar o mapa estratégico da empresa, 2) controlar os riscos operacionais, 3) dimensionar recursos humanos e materiais para manter as linhas de produção, 4) estabelecer o investimento adequado com um retorno viável, 5) gerar todos os fluxos e processos adequados para garantir a integração entre os setores da indústria.

Nesta etapa será realizado a interatividade entre as pesquisas qualitativas, de cunho exploratório, que foram efetuadas e o artefato proposto. Esta atividade será validada de forma prática, através de comparação e prova de conceito de parte do modelo no ambiente de trabalho do pesquisador.

4. DESENVOLVIMENTO

A execução deste estudo foi desenvolvida em 5 etapas, conforme descrito no item 3.4 [Etapas da pesquisa].

4.1 Etapa 1 – Planejamento e Entendimento detalhado do problema de pesquisa

No início da pesquisa, em 2019, o autor identificou através de uma observação prática do ambiente empresarial, comparando na prática as quatro principais plantas da Ternium no mundo [uma planta no Brasil, duas na Argentina e uma no México], que existiam diferença entre as unidades da mesma empresa por conta da diferença cultural e de mercado, mas também na forma de gerenciar o negócio. As diferenças geográficas justificam certos comportamentos, mas a visão, os valores e a missão da empresa ainda eram os mesmos.

No ano de 2019, o autor fez uma avaliação presencial da aplicação da manutenção preditiva nas plantas da Ternium na Argentina e México, onde identificou diversos pontos de melhoria. Foi focado o setor de manutenção preditiva, mas em oportunidade foi estudado como é a forma gerencial da manutenção e operação destas unidades. O resultado destas visitas está resumido em uma apresentação feita para os líderes da Ternium, disponibilizada no apêndice “A” desta pesquisa. Dentre os pontos de melhoria identificados, a falta de interatividade das informações entre os departamentos foi unânime, todos os sites visitados não tinham interação. Partindo da ideia dos centros de controle preditivos, que normalmente existem em muitas empresas que trabalham com gestão de ativos (informação verbal⁴), o autor pressupôs que um departamento que centralizasse os dados, indicadores e quaisquer outros parâmetros para monitoramento e controle dos ativos da empresa (e não somente os ativos físicos), tratados adequadamente para serem transformados em informações úteis a diretoria, poderia ser importante na integração do nível estratégico, tático e operacional das empresas. Assim como ele teve a percepção de que os recursos da indústria 4.0 facilitariam, ou mesmo possibilitariam, a implantação do departamento e ajudariam a extrair o maior valor dos ativos da empresa.

Desta forma, foi iniciado a pesquisa com orientação metodológica do Design Science Research tendo o objetivo de conseguir embasamento no conhecimento sobre a indústria 4.0, como estão as empresas, identificado as metodologias da avaliação de maturidade e os benefícios para as empresas. Com o objetivo de identificar “o que as empresas precisam” para evoluírem na implantação da indústria 4.0, sempre com o estudo assistido do ambiente da Ternium, seus avanços rumo a indústria 4.0 e como poderia ser alinhado os conceitos práticos com os estudos teóricos. A abordagem inicial desta pesquisa era propor diretrizes para a implantação de um departamento de monitoramento e controle que apoiasse a empresa com ferramentas da Indústria 4.0 para gerar informações estratégicas para a diretoria.

Na etapa de entendimento do problema foi deixado de buscar formas de criar o departamento e iniciado uma pesquisa sobre como a empresa pode evoluir dentro dos níveis de maturidade, para que no final fosse verificado se o departamento realmente ajudaria. Um elemento chave na implantação da Indústria 4.0 é a integração vertical e horizontal (GÖKALP et al., 2017; SCHUMACHER et al., 2016; SCHUH et al., 2020; SCHWAB, 2018), que é a principal função idealizada pelos autores para o departamento, assim, a hipótese foi confirmada como positiva, o departamento é uma ferramenta alinhada à indústria 4.0, e foi pesquisado então quais são as melhores funções que o departamento deve ter para realmente suportar o crescimento da maturidade da empresa.

⁴ Identificado nos trabalhos e palestras apresentados nos congressos CBMGA – Congresso Brasileiro de Manutenção e Gestão de Ativos – da ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção de 2014 a 2020.

Neste contexto, foi identificado que a indústria 4.0 suporta a integração dos dados e gestão estratégica de ativos (SCHWAB, 2016). Muitas pesquisas indicam “o que” as empresas devem “ter” para serem qualificadas em níveis de maturidade representativos. Essa pesquisa demonstrou que o departamento pode ser uma ferramenta do “como fazer” para evoluírem para os níveis mais altos, assim alinhando a ideia inicial com o resultado de uma pesquisa estruturada por base metodológica de forma adequada.

4.2 Etapa 2 – Revisão bibliográfica

O desenvolvimento da revisão bibliográfica foi feito em duas etapas. Iniciando com uso da metodologia referenciada por Carvalho et al. (2017) para elaboração de um mapeamento sistemático. Sequencialmente, na segunda etapa foi utilizado desse material para analisar o assunto com uso da metodologia de análise de conteúdo de Bardin (1977).

4.2.1. Mapeamento Sistemático

Mapeamento Sistemático é um mecanismo de revisão bibliográfica que produz como resultado a visão geral de um tópico de pesquisa (Carvalho et al, 2017). As informações sobre um tópico específico vêm da agregação de todos os estudos empíricos que já foram feitos sobre o assunto. Esta metodologia procura sempre ser mais imparcial possível, auditável e repetível (Kitchenham, 2010).

Kitchenham (2012) descreve os artigos de revisão sistemática como estudos secundários e os estudos que analisam são referidos como estudos primários, descrevendo o mapeamento sistemático têm como objetivo encontrar e classificar os estudos primários em uma área temática específica. Nesse tipo de revisão, é possível classificar os estudos selecionados e identificar evidências para trabalhos futuros (CARVALHO et al, 2017). Através deste método é possível categorizar estudos primários sobre um tema fornecendo resultados sobre o estado da arte para o assunto. Desta forma, identificando lacunas para trabalhos futuros e fornecendo baseamento para desenvolvimento do tema em questão (ARAUJO, 2016).

Carvalho et. al. (2017) propõe executar o mapeamento sistemático de acordo com um processo detalhado na figura 6. Este processo contém três etapas: Planejamento, Execução e Sumarização. Na etapa de planejamento, o protocolo de pesquisa é criado. Este protocolo contém as perguntas de pesquisa, cadeias de pesquisa, mecanismos de origem e critérios de seleção (inclusão e exclusão). Os critérios são aplicados nos filtros para selecionar apenas resultados relevantes. Esses filtros, descritos na próxima subseção, são executados após a obtenção dos estudos primários dos mecanismos de pesquisa. Por fim, a extração de dados é realizada com os estudos selecionados, resumindo os resultados da revisão.

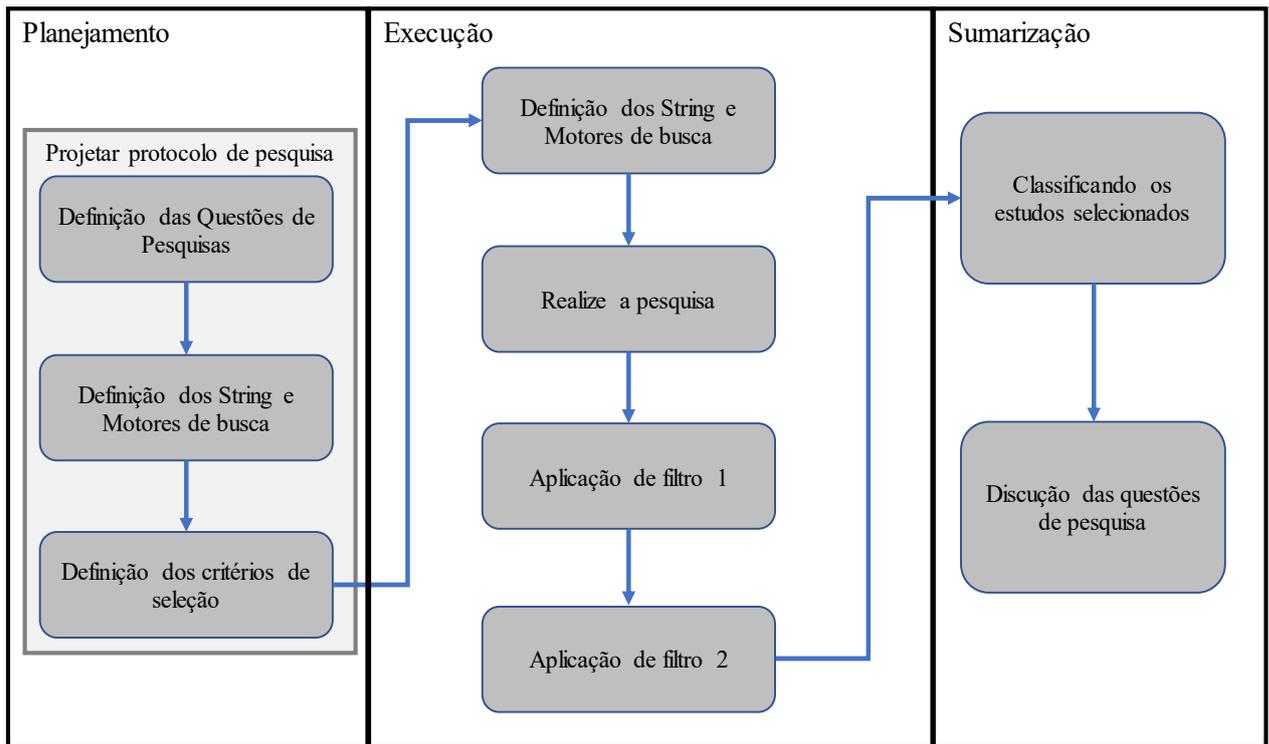


Figura 06: Processo de mapeamento sistemático. Fonte: Carvalho et al. (2017).

Kitchenham et al (2010) orienta que as principais etapas do estudo de mapeamento sistemático a serem seguidas são a definição de questões de pesquisa, a busca de artigos relevantes, a triagem de artigos, a formulação de resumos e a extração e mapeamento de dados, salientando que cada etapa do processo tem suas considerações individuais e o resultado final é o mapeamento sistemático.

Sendo o processo de ambos os autores muito similar, o método adotado foi uma mescla do indicado pelos dois autores, sendo esquematizado como descrito.

- . *Research Question*: iniciar o processo com as delimitações e definições da pesquisa.
- . *Search String*: especificar as equações lógicas da pesquisa.
- . *Sources*: selecionar os motores de busca para realização da pesquisa.
- . *Algorithms*: elaborar um algoritmo para cada motor de busca selecionado, pois este será em função das ferramentas de configuração de cada site e os parâmetros de pesquisa estabelecidos.
- . *Execute Search String*: realizar o levantamento dos artigos em função dos algoritmos estabelecidos e avaliar os resultados.
- . *Inclusion & Exclusion Criterias*: especificar os critérios que validarão a permanência ou retirada dos artigos da lista. Nesta etapa estes critérios funcionam como filtros.

4.2.1.1 Questões de Pesquisa (*Research Questions – RQ*)

No mapeamento sistemático, o objetivo principal deste estudo é fornecer uma descrição e uma avaliação do atual corpo de conhecimentos sobre a interseção entre os tópicos de interesse (SPENDER et al, 2017). O processo se inicia com a tarefa da elaboração das questões de pesquisa que serão usadas para orientar a revisão e proporcionar o atingimento dos resultados esperados, sendo desta forma uma das tarefas mais importantes do protocolo (CARVALHO et al, 2017).

Este mapeamento tem o objetivo de subsidiar a pesquisa principal a responder o problema de pesquisa: **Que diretrizes devem ser adotadas visando a estruturação de um departamento de monitoramento, controle e gestão de ativos em uma empresa de grande porte, com utilização das ToIndustry 4.0?**

Partindo deste princípio, as questões de pesquisa deste mapeamento sistemático buscarão orientar os autores sobre este assunto e não necessariamente responder a esta questão. Foi então elaborado as questões do quadro 1, que são orientadas a identificar tudo de relevante com relação aos assuntos de monitoramento, gestão e controle no ambiente da indústria 4.0, abreviado na sigla MIC 4.0 – *Management and Industrial Control 4.0*.

Quadro 1: Questões de pesquisa do mapeamento sistemático.

Questão	Lógica
RQ1 – Quando foi publicado? Qual o período de pesquisa?	O objetivo desta questão de pesquisa é ter uma visão temporal da pesquisa sobre gestão e controle industrial 4.0 ou MIC 4.0.
RQ2 – Onde está sendo divulgado com maior frequência o assunto?	O objetivo desta questão de pesquisa é saber se existem locais específicos que estão publicando pesquisas sobre MIC 4.0
RQ3 – Qual a abordagem das pesquisas sobre sistemas de controle de linhas de produção, preferencialmente na Siderurgia Brasileira, dentro da estratégia de indústria 4.0?	Esta questão busca identificar qual são os objetivos mais frequentes das pesquisas de MIC 4.0, com que tipo de abordagem eles falam do tema.
RQ4 – Como as empresas, com foco nas indústrias siderúrgicas, estão sendo estruturadas com relação a departamentos de controle das linhas de produção?	Identificar se existe alguma tendência ou padronização da estrutura departamental das siderúrgicas e empresas industriais de grande porte para trabalhar no assunto de MIC 4.0.
RQ5 – Como o ramo siderúrgico brasileiro está trabalhando com a indústria 4.0 com relação a controle de condição das linhas de produção?	Identificar as melhores práticas que as empresas do ramo siderúrgico estão adotando para trabalhar com as novas ferramentas da atualidade.
RQ6 – O que está sendo pesquisado e estudado sobre indústria 4.0 correlacionado com teorias de administração estratégica da produção industrial?	O objetivo desta questão é identificar estudos pesquisados na área de gestão que estejam correlacionados com a indústria 4.0. O foco principal da pesquisa não é abordar sistemas computacionais, sensores, mainframes, lógicas de automação e etc, no detalhe de como isso funciona, com uma abordagem técnica, mas sim com uma abordagem focada na gestão estratégica das empresas. Desta forma, ele será focado em usar toda essa tecnologia que vivenciamos com a quarta revolução industrial para ter informações e facilidades para tomada de decisões estratégicas.

4.2.1.2 Search String

A *search string* é uma forma de descrever a pesquisa em uma linguagem lógica para, e quase como uma equação matemática, seja possível expressar de forma mais prática o seu conteúdo. Nos motores de buscas devem ser realizadas as pesquisas com uma combinação de palavras-chave, sendo estas palavras são oriundas das questões de pesquisa que se deseja encontrar.

As palavras-chaves precisam ser escritas e construídas em cadeias de pesquisa (SPENDER et al., 2017). Desta forma, é possível inseri-las na linguagem de programação dos motores de busca.

Após ter sido eleito as palavras-chave, utiliza-se o conceito de conjunto para equacionar a busca. A *search string* utilizada neste estudo está abaixo.

$P = (\text{"Industrial Management and Control 4.0"})$

$Q = (\text{"monitoring" OR
"control" OR "application" OR
"analysis" OR "structure" OR
"steel industry" OR "siderurgy" OR "method"})$

$R = (\text{"industry 4.0" OR "4th industrial revolution" OR "industrial 4.0"})$

Search String = $P \vee (Q \wedge R)$

4.2.1.3 Sources

Para fazer o levantamento de dados, a *search string* acima foi aplicada nos três motores de buscas abaixo relacionados abaixo. Outros motores de buscas foram consultados, mas estes três apresentaram os melhores resultados e os demais foram descartados neste estudo e somente os resultados destes abaixo serão considerados.

- ☞ ACM Digital Library (<http://portal.acm.org>)
- ☞ IEEE Xplore (<http://ieeexplore.ieee.org>)
- ☞ Science Direct (<http://www.elsevier.com>)

4.2.1.4 Algorithms

A *search string* elaborada foi ajustada de acordo com cada tipo de motor, garantindo não deixar ela perder o conceito fundamental, mas criando um algoritmo. Esse ajuste é necessário para enquadrar a *string* de forma adequada para a linguagem de programação dos motores de busca. Para tal, faz-se necessário a utilização do recurso de busca avançada ou pesquisas por comandos, onde é possível executar e especificar pesquisas mais complexas do que nas pesquisas simples ou estruturadas. Com essas ferramentas de buscas avançadas é possível utilizar muitos termos e operadores de pesquisa.

4.2.1.5 Artigos de controle

Para a validação das *Search Strings* no site, isto é, para ter certeza de que a pesquisa será bem sucedida foi utilizado artigos de controle. Estes são artigos conhecidos do autor, identificados por busca simples, indicação ou qualquer outro meio, que se enquadra muito bem

no assunto que deseja ser pesquisado e desta forma ele necessariamente vai aparecer na pesquisa avançada, pois caso não ocorra, o procedimento está errado e precisa ser revisto.

Os artigos de controle são aqueles que são conhecidos pelo autor, que são referência na sua pesquisa e assim devem estar contidos nas pesquisas realizadas nos motores de buscas com base nas *Search String* configuradas. Desta forma, os artigos de controle servem para testar se a configuração de pesquisa realizada vai ser bem sucedida, visto que os artigos de controle obrigatoriamente devem aparecer nos resultados pesquisados. Todos os artigos do estudo sistemático estão relacionados no apêndice B. Os artigos de controle utilizados foram os #53, #69, #76, #91 e #93.

4.2.1.6 Critérios de seleção – *Inclusion & Exclusion Criterias*

Continuando a metodologia seguida, após a elaboração e execução do algoritmo, além de uma pré-avaliação para considerar a validade do conteúdo, já se obtém uma grande quantidade de artigos sobre o assunto de estudo. O próximo passo é estabelecer critérios nos quais estes artigos serão submetidos para filtrar aqueles que realmente estão dentro do objetivo da pesquisa e fornecerão informações suficientes para responder as questões de pesquisas estabelecidas.

Os critérios de inclusão e exclusão são usados para excluir estudos que não possuem relevância para responder às perguntas da pesquisa (PETERSEN, 2008). Assim, foi eleito um critério de inclusão (IC) e seis critérios de exclusão (EC).

4.2.1.7 Critério de Inclusão (IC – *Inclusion Criteria*)

Foi estabelecido um critério de inclusão para o mapeamento. Este parâmetro de validação indica que o artigo está de acordo com o objetivo do estudo e merece ser avaliado e estudado mais profundamente.

O IC elaborado foi: O estudo discute o uso de teorias e ferramentas da indústria 4.0, com foco no controle e monitoramento, nos equipamentos estratégicos de linhas de produção de empresas de médio a grande porte, com foco preferencial no ramo siderúrgico.

A razão para esta inclusão é que todos os artigos que satisfizerem este parâmetro estarão claramente alinhados com o objetivo da pesquisa principal que o mapeamento vai subsidiar. O assunto “indústria 4.0” traz resultados muito diversificados, pois são comumente usados para abordar também outros fenômenos fora da gestão e controle. Uma quantidade muito grande de artigos que tratam o tema com objetivos diversos é encontrada e este parâmetro foi adequadamente suficiente para delimitar o que deseja ser incluso.

4.2.1.8 Critério de Exclusão (EC – *Exclusion Criteria*)

Seguindo o processo de refinamento dos resultados obtidos nas pesquisas, foi elaborado seis critérios que excluem os artigos que passaram no critério de inclusão. Muitos artigos foram mapeados por abordarem o assunto de indústria 4.0, mas estes critérios de exclusão serão outros filtros para garantir que o artigo a ser estudado detalhadamente agregará valor ao mapeamento desejado. Os artigos que se adequaram no processo de inclusão apresentam as palavras-chave em seu resumo ou texto completo do artigo, mas não abordam um conteúdo que ajude a responder as perguntas de pesquisa do mapeamento, logo eles serão excluídos. O quadro 2 relaciona os critérios de exclusão utilizados.

Quadro 2: Critérios de exclusão.

EC	Critério de Exclusão (Exclusion criteria)	Razão da Exclusão
EC1	O estudo é de conteúdo estritamente técnico.	O objetivo deste mapeamento é de caráter gerencial e estratégico. Artigos com viés técnico, sobre a engenharia da indústria 4.0, sensores e sistemas de monitoramento e controle terão pouco a agregar ao estudo.
EC2	O estudo publicado não possui um resumo.	Os artigos precisam estar completos, no padrão de publicações. O primeiro filtro será feito em uma avaliação no resumo.
EC3	O estudo foi publicado no formato de um resumo.	Os artigos precisam estar completos, no padrão de publicações. Após a avaliação do resumo, o texto completo será avaliado, somente o resumo não agrega informação suficiente ao estudo.
EC4	O estudo não está escrito na língua inglesa ou portuguesa.	Outras línguas terão a necessidade de tradutores e podem induzir os autores a interpretações errôneas.
EC5	O estudo não possui ineditismo, ele é uma cópia de um estudo já existente.	Todo artigo encontrado que for uma cópia será descartado e o artigo copiado será avaliado, caso seja possível encontrá-lo.
EC6	O estudo foi publicado somente em congressos.	Artigos publicados somente em congressos tendem a não ter o aprofundamento desejado.

4.2.1.9 Resultados do mapeamento sistemático

Aplicando o processo indicado por Kitchenham et al. (2012) e Carvalho et al. (2017) foi elaborado o protocolo de pesquisa e projeto de mapeamento sistemático, representado pelo fluxograma que está ilustrado na figura 7.

Foi identificado 493 artigos na compilação dos três motores de busca. Como as pesquisas são realizadas individualmente, é normal que o mesmo artigo seja encontrado em locais diferentes. Então, antes de se iniciar qualquer filtragem é feito uma análise dos títulos dos artigos para eliminar aqueles que são duplicados. Ao final do processo ficaram 102 artigos para serem avaliados usando o devido critério, com o objetivo de responder às perguntas de pesquisa deste estudo e elaborar o mapeamento sistemático.

As perguntas de pesquisas foram respondidas e a partir destas respostas foram selecionadas palavras-chave para representá-las. Esse procedimento foi adotado na análise para que fosse possível elaborar gráficos com todas as questões de pesquisa.

Na construção dos gráficos foi adotado uma compilação em Gráfico de Pareto, uma ferramenta básica da qualidade. Essa ferramenta é muito utilizada na administração geral e nos processos industriais para mapeamento de problemas semelhantes, facilitando assim a identificação das suas causas principais e atacá-las de forma efetiva (LINS, 1993). O gráfico de Pareto tem o aspecto de um gráfico de barras. Todos os parâmetros avaliados são classificados de acordo com sua contribuição para o somatório de dados estudados, e assim organizado de forma a exibir quais são os maiores contribuintes.

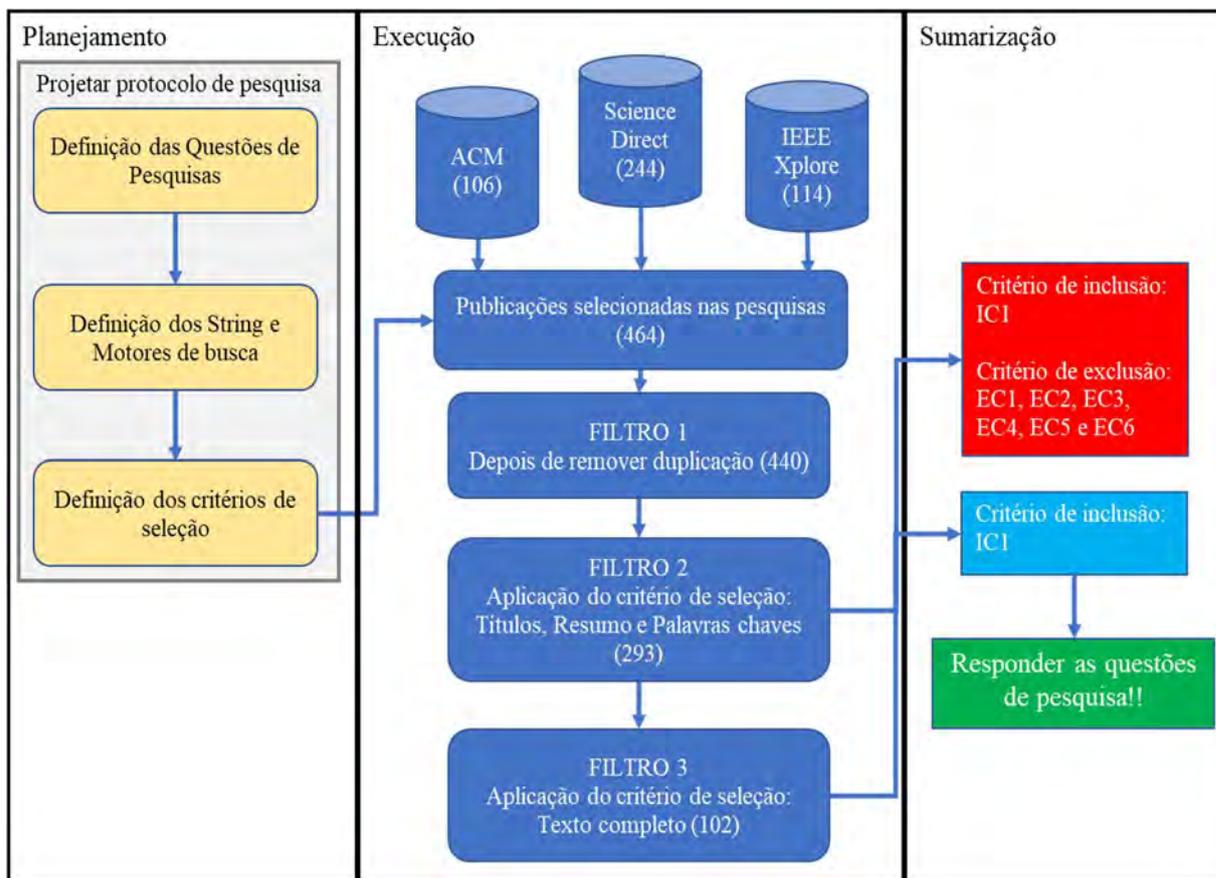


Figura 7: Processo de Mapeamento Sistemático. Fonte: Elaborado pelo autor.

A técnica de quantificar a importância de cada categoria, ou a causa de um problema, depois ordená-las e depois desdobrá-las sucessivamente é denominada estratificação (LINS, 1993). Essa abordagem nos auxilia a identificar facilmente as maiores tendências de estudo que estão sendo realizados sobre monitoramento e controle industrial 4.0 (MIC 4.0) e as maiores lacunas neste assunto.

4.2.1.10 RQ1 – Quando foi publicado? Qual o período de pesquisa?

O assunto de monitoramento e controle é estudado muitos anos antes de 1990, que foi a linha de corte adotada. Entretanto, a quarta revolução industrial é um assunto mais recente. Foi confirmado que o assunto de monitoramento e controle industrial 4.0 está sendo muito pesquisado após 2015 e o primeiro estudo neste contexto foi identificado em 1994.

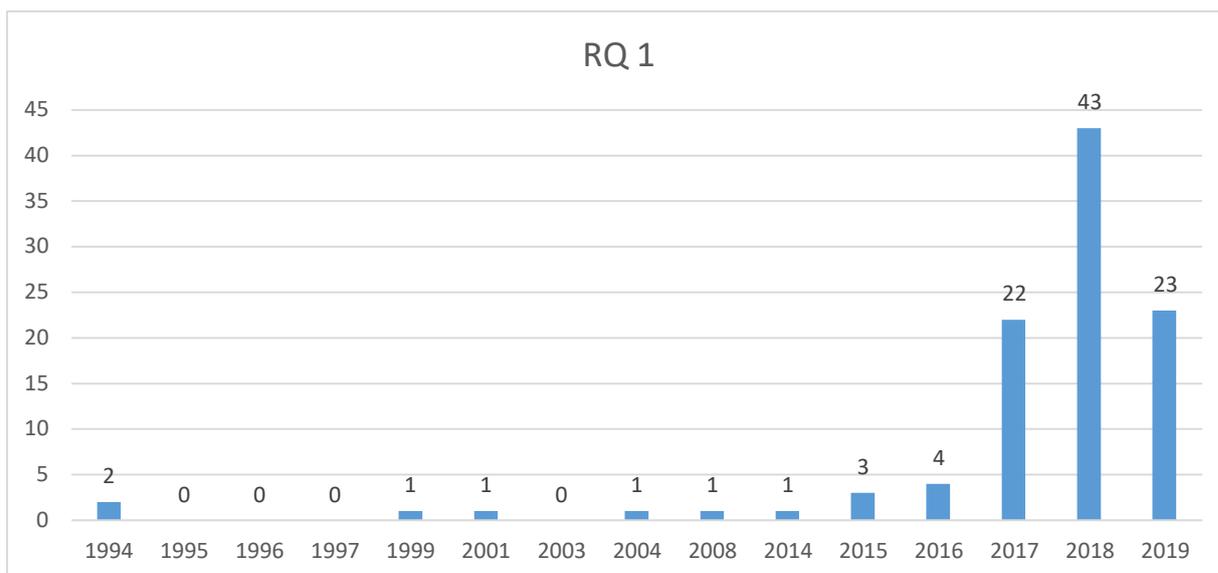


Figura 8: Distribuição de artigos publicados após 1990.

Como a pesquisa foi realizada em julho de 2019, pode ser considerada a tendência ascendente deste ano, pois no primeiro semestre já foram publicados a mesma quantidade de artigos de 2017, somando ao fato de que foram publicados o dobro de artigos em 2018, um aumento de 100%. A distribuição dos artigos mapeados com base nesta questão está contida na tabela 1, usando a mesma codificação do Apêndice B.

Tabela 1: Categorias da primeira questão de pesquisa.

Categoria	Descrição	Artigos (Identificador)
1994	Artigos publicados em 1994.	#7 e #78.
1999	Artigo publicado em 1999.	#58.
2001	Artigo publicado em 2001.	#85.
2004	Artigo publicado em 2004.	#10.
2008	Artigo publicado em 2008.	#86.
2014	Artigo publicado em 2014.	#47.
2015	Artigos publicados em 2015.	#13, #35 e #70.
2016	Artigos publicados em 2016.	#3, #9, #33 e 91.
2017	Artigos publicados em 2017.	#1, #15, #17, #27, #32, #36, #38, #44, #52, #64, #65, #66, #74, #79, #81, #84, #90, #94, #95, #97, #100 e #101.
2018	Artigos publicados em 2018.	#4, #5, #6, #11, #12, #14, #19, #20, #21, #22, #23, #24, #25, #28, #29, #31, #39, #40, #41, #42, #43, #46, #49, #54, #56, #57, #61, #63, #67, #68, #69, #72, #77, #80, #83, #87, #88, #89, #92, #93, #98, #99 e #102.
2019	Artigos publicados em 2019.	#2, #8, #16, #18, #26, #30, #34, #37, #45, #48, #50, #51, #53, #55, #59, #60, #62, #71, #73, #75, #76, #82 e #96.

4.2.1.11 RQ2 – Onde está sendo divulgado com maior frequência o assunto?

Os artigos estão sendo publicados mais em revistas, seguindo daqueles apresentados em congressos e publicados em revistas. A outra categoria relevante é o *Journal*, onde foram encontradas muitas publicações.

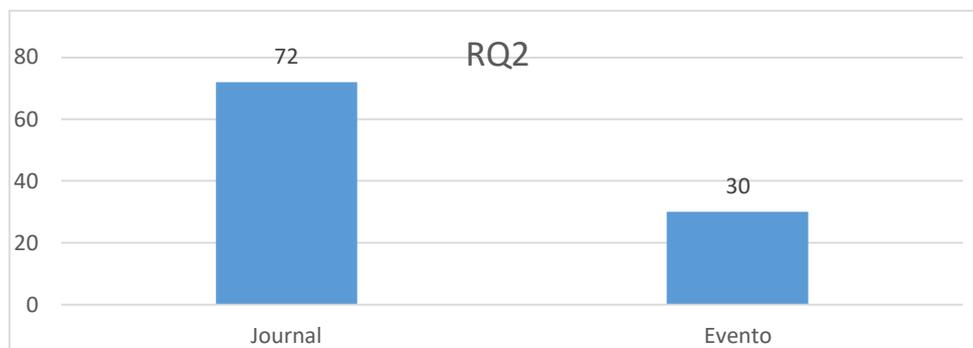


Figura 9: Distribuição de onde estão sendo mais publicados os artigos.

Tabela 2: Categorias da segunda questão de pesquisa.

Categoria	Descrição	Artigos (Identificador)
<i>Journal</i>	Artigo publicado em revistas científicas.	#1, #2, #5, #6, #7, #8, #9, #10, #11, #12, #15, #16, #17, #18, #24, #25, #26, #27, #28, #30, #31, #32, #33, #34, #35, #39, #41, #42, #43, #45, #46, #47, #48, #49, #50, #51, #52, #58, #59, #60, #62, #63, #64, #67, #68, #69, #71, #72, #73, #74, #78, #79, #81, #82, #84, #85, #86, #87, #88, #89, #90, #91, #92, #93, #94, #96, #97, #98, #99, #100, #101 e #102.
Evento	Artigo publicado em congressos e seminários.	#3, #4, #13, #14, #19, #20, #21, #22, #23, #29, #36, #37, #38, #40, #44, #53, #54, #55, #56, #57, #61, #65, #66, #70, #75, #76, #77, #80, #83 e #95.

4.2.1.12 RQ3 – Qual a abordagem das pesquisas?

Nesta questão foi mapeado qual a abordagem das pesquisas sobre sistemas de controle de linhas de produção, preferencialmente na Siderurgia Brasileira, dentro da estratégia de indústria 4.0.

Os três tipos de abordagens mais utilizadas nos estudos foram a fabricação inteligente, softwares, e inovações tecnológicas, resultando em mais da metade dos artigos mapeados. A figura 10 é o gráfico de Pareto dos dados. A tabela 3 relaciona as categorias mapeadas com suas respectivas descrições.

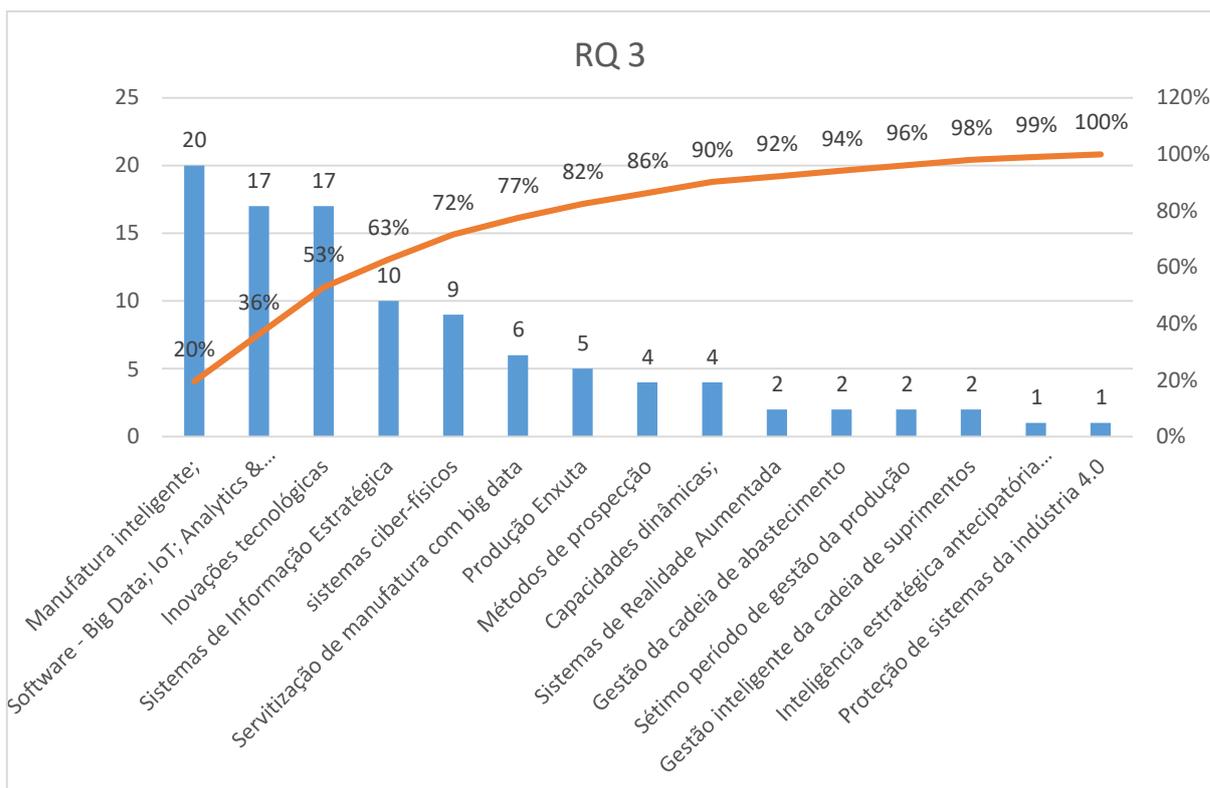


Figura 10: Gráfico de Pareto do mapeamento com base na RQ3.

Tabela 3 (continua): Categorias da terceira questão de pesquisa.

Categoria	Descrição	Artigos (Identificador)
Fabricação inteligente;	Aplicação de inteligência artificial nas fábricas estão tornando as linhas de produção sistematizadas e auto-operáveis e auto-monitoradas.	#2, #4, #11, #20, #23, #26, #29, #36, #48, #50, #54, #59, #71, #73, #76, #79, #81, #88, #100 e #101.
Software – Big Data; IoT; Análise e Machine Learn	Novas ferramentas digitais para os computadores que estão revolucionando as indústrias.	#1, #24, #31, #34, #39, #46, #49, #53, #61, #65, #67, #72, #75, #83, #91, #93 e #94.
Inovações tecnológicas	Um novo produto específico ou um novo processo específico para as indústrias utilizando a tecnologia IoT e softwares.	#7, #8, #9, #13, #25, #27, #37, #40, #51, #52, #60, #70, #74, #77, #82, #90 e #99.
Sistemas Estratégicos de Informação	Suporte de sistemas de informação para decisões estratégicas, e sistemas que facilitam atividades estratégicas das indústrias.	#16, #22, #32, #43, #58, #66, #68, #78, #89 e #96.
Sistemas ciber-físicos	Uso de sistemas cibernéticos nas linhas de produção.	#33, #35, #38, #41, #45, #62, #64, #92 e #97.
Servitização de fabricas com big data	Atividades de manutenção industrial que utilizam grandes bancos de dados.	#3, #44, #47, #95, #98 e #102.
Produção enxuta	Uso das inovações tecnológicas para implantação de <i>Lean Production</i> .	#15, #21, #30, #42 e #85.

Tabela 3 (continuação): Categorias da terceira questão de pesquisa.

Categoria	Descrição	Artigos (Identificador)
Métodos de prospecção	Novos produtos ou processos em teste para a indústria 4.0	#5, #14, #80 e #86.
Capacidades Dinâmicas;	Uso das ferramentas da indústria 4.0 para melhorar o conhecimento e capacitações dos colaboradores.	#17, #55, #57 e #69.
Sétimo período de gerenciamento da produção	Comparação da evolução da produção industrial com a administração da produção industrial.	#18 e #19.
Gerenciamento inteligente da cadeia de suprimentos	Transformação digital que está ocorrendo nos processos de suprimentos das indústrias.	#12 e #56.
Sistemas de Realidade Aumentada	Tecnologias que trabalham com realidade virtual para melhorar os processos.	#6 e #28.
Inteligência estratégica antecipatória coletiva;	Sistema estratégico para antecipação de dados coletivos	#10.
Salvaguardando os Sistemas da Indústria 4.0	Processos de segurança da informação da indústria 4.0	#63.

Para estudos de gestão da indústria 4.0 com referência a administração empresarial foi identificado poucos artigos, mas o conteúdo deste foram muito bem conceituados.

4.2.1.13 RQ4 – Como as empresas estão sendo estruturadas?

A quarta questão de pesquisa foi como as empresas, preferencialmente as siderúrgicas, estão sendo estruturadas com relação a departamentos de controle das linhas de produção? As grandes empresas de produção industrial foram foco no mapeamento, buscando preferencialmente as do ramo siderúrgico pelo fato da avaliação prática do estudo principal, referente a elaboração das diretrizes para um departamento com base na Indústria 4.0, ser realizada na siderúrgica TERNIUM.

As pesquisas que mais apareceram foram sobre a aplicação de tecnologias para novas máquinas e controle de produção. As empresas estão se estruturando para automatizar de forma inteligente as atividades repetitivas dos operadores e as máquinas estão sendo equipadas com sistemas de monitoramento inteligente que coletam informações sobre elas mesmas para fornecer dados a sistemas de operação. A Tabela 4 relaciona as categorias com as respectivas descrições. A figura 11 é o gráfico de Pareto dos dados.

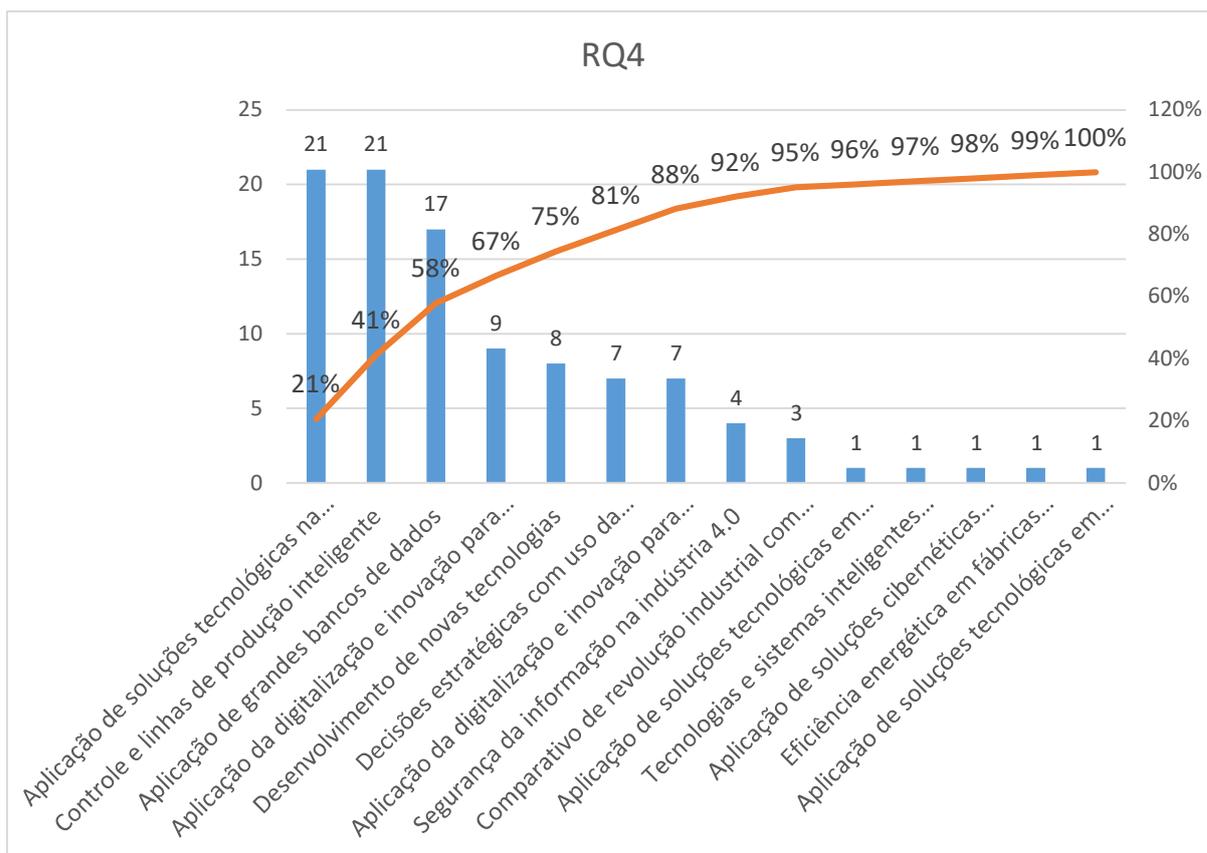


Figura 11: Gráfico de Pareto da distribuição da quarta questão de pesquisa.

Tabela 4 (continua): Categorias da quarta questão de pesquisa.

Categoria	Descrição	Artigos (Identificador)
Aplicação de soluções tecnológicas na produção	Novas máquinas ou componentes que automatizam as linhas produção com conectividade.	#2, #4, #14, #20, #23, #27, #36, #42, #50, #54, #73, #76, #77, #79, #81, #85, #86, #88, #90, #97 e #100.
Controle e linhas de produção inteligente	Sistemas de informação e controle que tornam a produção automatizada de forma inteligente.	#8, #9, #10, #11, #13, #15, #21, #38, #40, #48, #51, #52, #56, #60, #62, #70, #71, #74, #92, #95 e #101.
Aplicação de grandes bancos de dados	Aplicação de Big Data nos processos industriais e gerenciais.	#1, #24, #30, #31, #33, #34, #39, #41, #49, #53, #57, #68, #72, #91, #93, #94 e #98.
Aplicação da digitalização e inovação para serviços	Uso de ferramentas da indústria 4.0 para as atividades de serviços.	#3, #28, #35, #44, #45, #47, #83, #96 e #102.

Tabela 4 (continuação): Categorias da quarta questão de pesquisa.

Categoria	Descrição	Artigos (Identificador)
Decisões estratégicas com uso da tecnologia	As ferramentas tecnológicas e de conectividade favorecendo as elaborações da estratégia.	#7, #12, #22, #55, #58, #65 e #84.
Aplicação da digitalização e inovação para produção	Uso de ferramentas da indústria 4.0 para as atividades de operação.	#16, #29, #66, #69, #78, #80 e #82.
Desenvolvimento de novas tecnologias	Estudos de empresas que estão desenvolvendo novas tecnologias para a indústria 4.0.	#5, #37, #43, #46, #61, #64, #67 e #99.
Segurança da informação na indústria 4.0	Boas práticas para a segurança da informação na indústria 4.0.	#26, #63, #75 e #89.
Comparativo de revolução industrial com revolução da administração	Estudo generalizado de evolução da administração da produção de indústrias 4.0.	#17, #18 e #19.
Aplicação de soluções tecnológicas em vendas	Ferramentas tecnológicas auxiliando os setores de vendas.	#6.
Tecnologias e sistemas inteligentes centrados no ser humano	Melhoria dos processos para os colaboradores.	#25.
Aplicação de soluções tecnológicas em suprimentos	Novas ferramentas tecnológicas focadas no setor de suprimento da indústria 4.0.	#87.
Eficiência energética em fábricas inteligentes	Uso da tecnologia para facilitar a gestão econômica de energia.	#59.
Aplicação de soluções cibernéticas avançadas	Desenvolvimento de soluções tecnologia cibernéticas.	#32.

As indústrias estão se estruturando para terem linhas de produção que possam ser auto operáveis, que tenham cada vez menos necessidade da interface humana. Nesta mesma linha, os sistemas propostos para levantar informações das máquinas estão muito evoluídos.

4.2.1.14 RQ5 – Como está o controle de condição das linhas de produção?

Buscando a metodologia de trabalho das indústrias 4.0, esta questão de pesquisa procurou entender como as empresas e indústrias estão trabalhando com a Indústria 4.0 com relação a controle de condição das linhas de produção.

A maioria dos artigos identificados no mapeamento foram pesquisas sobre as indústrias que estão trabalhando com inovações digitais. Neste cenário de indústria 4.0, este é um resultado esperado. As empresas estão trabalhando com ferramentas tecnológicas que são relativamente novas no mercado, para terem o melhor controle de condição, assim como também existe aquelas com desenvolvimento de tecnologias inéditas e com avançados recursos tecnológicos. Confirmando que o método de trabalho está focado na inovação, a terceira categoria com mais estudos está ficada em empresas que estão prospectando novos mercados de trabalho com a criação dessas inovações. A figura 12 e Tabela 5 que é o gráfico de Pareto destes dados explicitam melhor as informações encontradas.

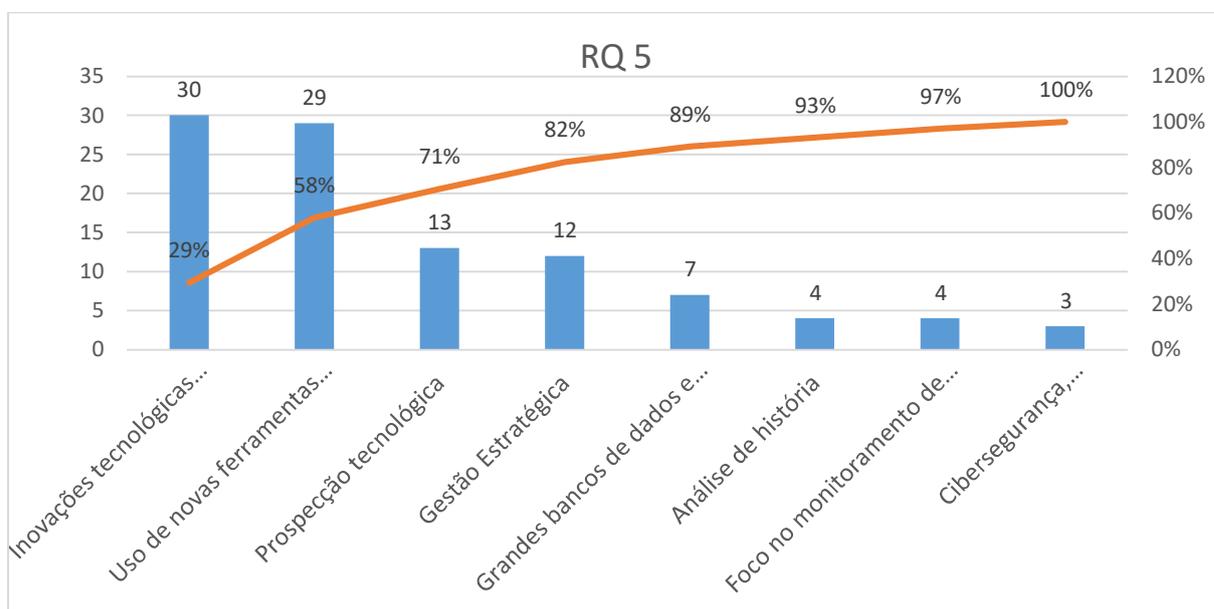


Figura 12: Gráfico de Pareto da distribuição dos dados.

Tabela 5 (continua): Categorias da quinta questão de pesquisa.

Categoria	Descrição	Nº dos artigos
Inovações tecnológicas avançadas	Desenvolvimento de avançadas tecnologias.	#1, #8, #13, #24, #29, #31, #34, #39, #40, #46, #47, #49, #53, #56, #60, #61, #62, #63, #64, #68, #71, #72, #76, #78, #91, #93, #94, #96, #100 e #101.
Uso de novas ferramentas de tecnologias	Uso de ferramentas atualizadas para controle.	#4, #5, #6, #7, #9, #14, #16, #20, #23, #25, #27, #28, #32, #33, #35, #41, #42, #43, #45, #48, #52, #67, #73, #79, #80, #81, #97, #99 e #102.
Prospecção tecnológica	Desenvolvimento de novos negócios com uso da tecnologia.	#11, #17, #19, #37, #51, #55, #66, #70, #74, #77, #86, #88 e #90.

Tabela 5 (continuação): Categorias da quinta questão de pesquisa.

Categoria	Descrição	Artigos (Identificador)
Gestão estratégica	Uso das ferramentas tecnológicas para gerir estrategicamente as indústrias.	#12, #15, #21, #22, #36, #54, #58, #59, #65, #84, #87 e #92.
Grandes bancos de dados e IoT	Gerenciamento de grande quantidade de dados com conectividade.	#38, #44, #50, #57, #75, #83 e #98.
Análise de histórico	Análise da evolução da indústria e administração.	#10, #18, #69 e #85.
Foco em monitoramento de condição	Tecnologias que são usadas para o monitoramento da condição operacional dos equipamentos de produção.	#2, #3, #30 e #82.
Segurança cibernética, da informação e tráfego de dados	Foco em sistemas ciberfísicos e no gerenciamento da segurança dos dados.	#26, #89 e #95.

O monitoramento de condição, apesar de ser extremamente importante nas indústrias, não possui muitos estudos aplicados, mesmo ele sendo facilitado pelas novas tecnologias da Indústria 4.0. Da mesma forma, o volume de informações e sistemas cibernéticos está aumentando a cada ano, mas não foram encontrados estudos de controle desta variável.

4.2.1.15 RQ6 – O que está sendo pesquisado e estudado sobre Indústria 4.0?

Esta questão direciona uma abordagem mais generalizada da indústria 4.0 com relação a gestão estratégica da produção. Questionando: O que está sendo pesquisado e estudado sobre Indústria 4.0 correlacionado com teorias de administração estratégica da produção industrial?

A forma de realizar análise inteligente de dados é o que mais está sendo pesquisado nos artigos mapeados. Todas as questões deram direcionamentos para a inovação, geração e controle de dados. Fechando este mapeamento é identificado que as pesquisas mais recentes estão muito preocupadas em analisar de forma inteligente, digitalizada e consistente todo o volume de dados que está sendo gerado nas indústrias 4.0. A figura 13 é o gráfico de Pareto dos dados e a Tabela 6 é a base de dados utilizadas.

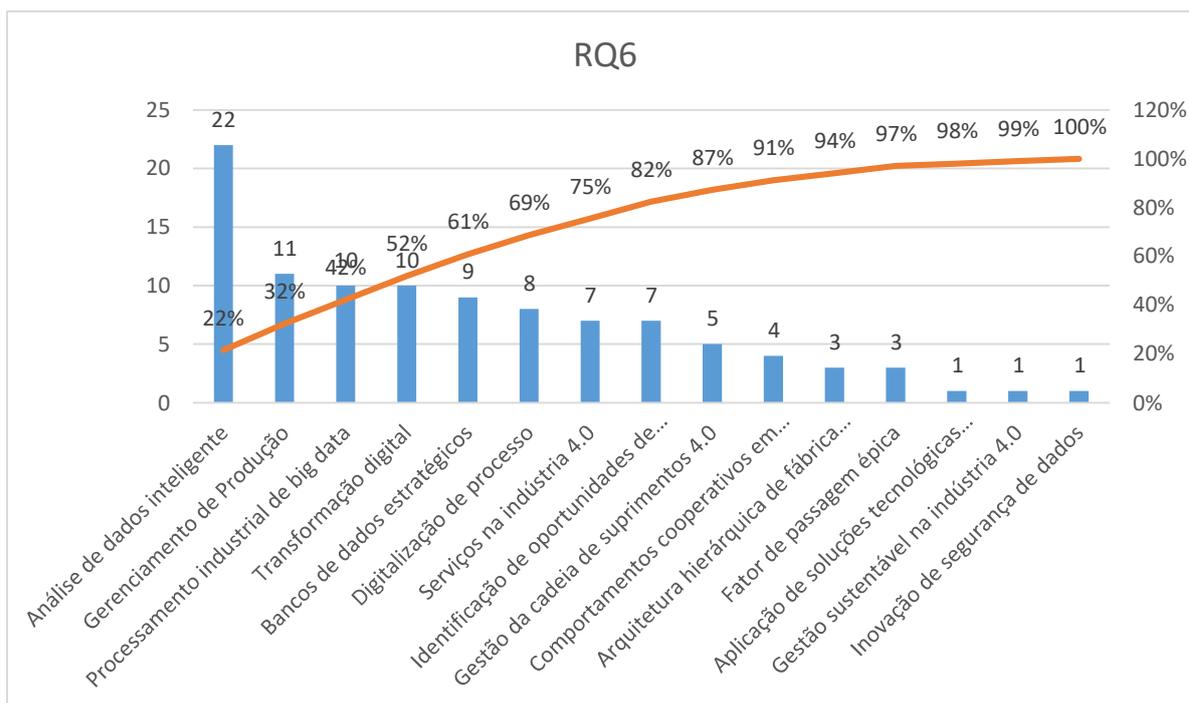


Figura 13: Gráfico de Pareto da distribuição dos dados da sexta RQ.

Tabela 6 (continua): Categorias da sexta questão de pesquisa.

Categoria	Descrição	Artigos (Identificador)
Análises inteligente de dados	Forma efetiva e automatizada de análise de dados, uso de inteligência artificial.	#5, #6, #7, #8, #9, #10, #20, #30, #36, #40, #46, #47, #48, #50, #54, #62, #68, #76, #81, #82, #89 e #100.
Processamento de big data industrial	Utilização de grandes bancos de dados para trabalhar com todos os dados gerados na indústria.	#1, #24, #31, #34, #39, #49, #53, #72, #93 e #94.
Administração da produção	Uso de tecnologia no gerenciamento da produção	#4, #12, #15, #21, #28, #42, #71, #79, #95, #97 e #101.
Transformação digital de processos	Atualização tecnológica de processos nas indústrias 4.0.	#16, #27, #32, #37, #60, #61, #64, #88, #90 e #99.
Bancos de dados estratégicos	Gerenciamento de grande volume de informações para tomada de decisões estratégicas.	#22, #26, #57, #58, #66, #75, #77, #92 e #98.
Serviços na indústria 4.0	Ferramentas tecnológicas usadas para desenvolver serviços.	#2, #13, #35, #44, #83, #96 e #102.
Identificação de oportunidades de negócios	Novas tecnologias favorecendo a abertura de novos negócios.	#29, #38, #45, #55, #78, #80 e #86.

Tabela 6 (continuação): Categorias da sexta questão de pesquisa.

Categoria	Descrição	Artigos (Identificador)
Gestão 4.0 de cadeia de suprimentos	Uso de ferramentas tecnológicas para os setores de suprimentos.	#56, #65, #84, #87 e #91.
Comportamentos cooperativos em fábricas inteligentes	Conectividade dentro dos diferentes setores da indústria	#17, #69, #73 e #74.
Fator de passagem épica	Análise histórica da evolução da administração.	#18, #19 e #85.
Arquitetura hierárquica da fábrica inteligente	Alterações nos padrões hierárquicos no ambiente das indústrias 4.0.	#11, #51 e #70.
Inovação em segurança de dados	Novas tecnologias para maior segurança para os dados da indústria.	#63.
Gestão sustentável na indústria 4.0	Uso de tecnologias e processo que favoreçam uma gestão que não seja mutável a um nível prejudicial a empresa.	#59.

Alguns setores da indústria ficaram mais atrasados na corrida da Indústria 4.0, pois ela foi muito focada em sistemas produtivos e sensores, pegando um impulso no aumento da automação. Entretanto, com a evolução da internet das coisas é possível perceber que toda a empresa está se tornando digital. Isso ficou evidente com a quantidade de estudos de indústria 4.0 correlacionado com cadeia de suprimentos.

4.2.2. Considerações finais do mapeamento sistemático

As ferramentas tecnológicas que estão bem difundidas nesta era da Indústria 4.0 começaram a ser desenvolvidas e implementadas nas indústrias desde a década de 70, durante a terceira revolução industrial. Nesta era as tecnologias buscam a transformação digital, que vem ficando mais madura e muito mais disseminada no mercado. A digitalização se tornou um pilar forte na chamada "quarta revolução industrial" por causa dessa quantidade de empresas que vislumbraram as vantagens da Indústria 4.0, pois um revolucionário sozinho não faz uma revolução, mas muitos estão transformando essa tendência em realidade e resultados. O que antes era privilégio de poucas empresas é agora uma realidade (e quase uma necessidade) de muitas.

O mapeamento sistemático evidenciou que os estudos publicados estão mais focados na inovação que a Indústria 4.0 está nos trazendo. Além disso, muitos artigos tratam do assunto de monitoramento e controle de dados. Este são os dois assuntos mais abordados no mapeamento. Neste cenário, o mapeamento identifica cinco tecnologias mais influenciadoras na Indústria 4.0, que está também levantada no relatório do *World Economic Forum – WEF 2017* e no livro de Schwab (2016), a quarta revolução industrial, sendo – Internet das coisas; – Robótica avançada; – Sistemas de impressão 3D; – Acessórios inteligentes; – Inteligência artificial.

O quadro 3 exemplifica algumas tecnologias que estão bem difundidas nos setores empresariais utilizando a digitalização da Indústria 4.0.

Quadro 3: Ferramentas e aplicações digitais.

Digitalização	Aplicação digital
Local de trabalho	<i>E-finance</i> ; Recursos humanos digitalizado; Compartilhamento do conhecimento interno com fácil acessibilidade (aplicações de smartphones, tablets e computadores)
Engenharia e Produção	Integração vertical; Otimização de processos com grandes bancos de dados (<i>Big Data</i>) e softwares <i>Analytics</i> ; Manutenção Preditiva; Monitoramento de Condição; Realidade Virtual; Engenharia Digital; linhas de produção inteligentes
Cadeia de Suprimentos	Execução e planejamento integrados; Visibilidade logística; Almoarifados inteligentes; Controladoria 4.0; <i>Analytics</i> na cadeia de suprimentos
Modelos de negócios, produtos e serviços digitalizados	Produtos otimizados digitalmente; Produtos e soluções inteligentes com conectividade; Serviços baseados em informações e automação; Modelos de negócios digitais
Gerenciamento de clientes e canais de acesso digital	Interação com os clientes e acessibilidade; Integração digital com os clientes; Canais de vendas otimizados; Gerenciamento do valor de tempo de vida do cliente (fidelização)

Com base nos resultados deste mapeamento sistemático será possível realizar uma pesquisa para aprofundar o conhecimento na quarta revolução industrial, com intuito de encontrar as melhores maneiras de estruturar todas as ferramentas úteis da Indústria 4.0 para a organização empresarial. Buscando assim agregar valor ao conhecimento de como utilizar os novos recursos da transformação digital para conseguir melhores resultados.

4.2.3 Análise de Conteúdo

A análise de conteúdo é um conjunto de técnicas desenvolvido no século passado, mas muito utilizado até hoje nas pesquisas quantitativas e qualitativas, que teve um grande desenvolvimento nos últimos anos. Consiste em um método para análise das comunicações através de todos os tipos de linguagem, isto é, verbal e não verbal, estudando e avaliando todos os tipos de dados e documentos visando identificar o que está sendo expresso sobre determinado tema (BARDIN, 1977; MORAES, 1999; VERGARA, 2005).

Os processos podem se diferenciar em função dos objetivos da pesquisa pelo fato de haver diversas formas de organizar e categorizar objetivos de pesquisas distintos (MORAES, 1999). Entretanto, todos os métodos convergem em ter procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens utilizando indicadores, que nem sempre são quantitativos, para permitir inferir conhecimentos relativos as condições de produção do conteúdo destas mensagens (BARDIN, 1977). Dentre os objetivos exploratórios da técnica utilizando procedimentos de leitura, e releitura, crítica de artigos, documentos e/ou livros para categorizar e entender o conteúdo das mensagens (VERGARA, 2005).

Os procedimentos, entendo estes como o passo a passo de execução, podem ser distintos, mas geralmente estão orientados no método de Bardin (1977), que menciona fazer a análise de conteúdo em três etapas: (1) pré-análise; (2) exploração do material; (3) tratamento dos dados

e interpretação (BARDIN, 1977), sendo categorizado assim independentemente da quantidade de atividades que o processo compreenda (MORAES, 2005).

4.2.3.1 Pré-análise

A análise de conteúdo feita nesta pesquisa foi utilizada para estudar o conteúdo do mapeamento sistemático, de forma a inferir as maiores qualidades de empresas que trabalham com a Indústria 4.0, que estão baseadas nos artigos mapeados. Trazendo para este cenário, nas etapas propostas por Bardin (1977), a análise de conteúdo se inicia com a escolha do tema e objetivo da análise, mas a análise aqui está dentro do contexto desta pesquisa, que já tem bem definido tema e problema de pesquisa. Assim, toda a seleção dos artigos para o mapeamento sistemático realizado foi considerada o início da etapa de pré-análise, que Moraes (1999) se baseia em Bardin (1977), mas descreve esta etapa como a preparação das informações.

No mapeamento foram utilizados os motores de busca para levantamento do conteúdo a ser estudado e através de leitura dinâmica e superficial, no mesmo padrão que deve ser a primeira observação [preparação] do conteúdo a ser analisado (BARDIN, 1977; MORAES, 1999; VERGARA, 2005), foi filtrado os artigos afins e diretamente relacionados com o objetivo da pesquisa, sendo este trabalho a preparação inicial dos artigos que serão estudados nessa análise de conteúdo.

No mapeamento foram feitas questões de pesquisa correlacionadas de forma a ajudar a responder o problema de pesquisa principal deste trabalho, item 1.1. Seguindo o procedimento de análise que foi adotado, os 103 artigos foram avaliados dinamicamente para responder as questões do mapeamento e destas respostas foram gerados os gráficos estatísticos.

O padrão de compilação gráfica dos dados do mapeamento sistemático foi exibido utilizando o gráfico de Pareto, conforme é explicado no item 4.2.1.9 – Resultados do mapeamento sistemático. Esse modelo de organizar os dados nos favorece a identificação dos elementos que mais apareceram nos artigos.

Exemplificando, no gráfico da figura 13, 21% dos artigos mapeados estudam o assunto “Análise inteligente de dados” quando a pesquisa se refere a Indústria 4.0. Respondendo a sexta questão de pesquisa do mapeamento.

Com estes gráficos, o procedimento adotado para a análise de conteúdo foi dar linha de corte nas respostas individuais que representava 75% do total de respostas. Seguindo nosso exemplo, a figura 14 ajuda a explicar, onde os assuntos abaixo representam 69% das respostas da sexta questão de pesquisa do mapeamento:

Quadro 4: Respostas mais representativas da 6ª RQ do mapeamento sistemático.

Questão	Resposta
RQ6 – O que está sendo pesquisado e estudado sobre Indústria 4.0?	<ol style="list-style-type: none">1. Análise inteligente de dados2. Processamento de <i>Big Data</i> industrial3. Administração da produção4. Transformação digital5. Banco de dados estratégicos6. Digitalização de processos

A interpretação deste dado é que aproximadamente 40% das respostas sobre os assuntos das pesquisas mapeadas representam 69% dos assuntos que mais estão sendo pesquisados nos estudos sobre a Indústria 4.0.

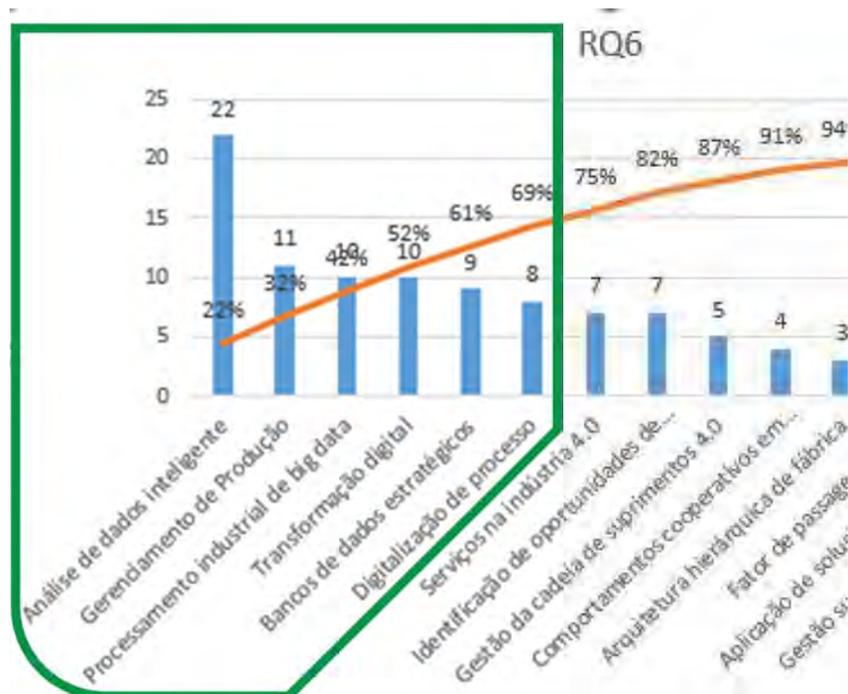


Figura 14: Corte no gráfico de Pareto da figura 13 para ilustrar os assuntos mais relevantes.

Esta análise foi realizada para todas as questões de pesquisa do mapeamento sistemático, elencando as respostas mais relevantes para todo o estudo. Seguindo a preparação, foi selecionado os artigos que possuem estas respostas em comum, fazendo com que este requisito seja mais um filtro nos 102 artigos mapeados. Desta forma, a quantidade de artigos selecionados para serem estudados nesta análise de conteúdo caísse para 25 artigos, que de acordo com as estatísticas, são os mais relevantes. Esses artigos [referenciados no Apêndice 1] são: #4, #7, #8, #9, #16, #20, #23, #27, #40, #48, #52, #60, #62, #66, #67, #71, #76, #77, #79, #81, #88, #90, #97, #100 e #101.

4.2.3.2 Exploração do material

A preparação do material envolve desde a coleta de dados, identificando as amostras de dados a serem analisadas de forma organizada, geralmente para facilitar o rastreamento, e elencando os documentos ou colhendo as informações e realizando a leitura do material selecionado, buscando um tratamento descritivo no primeiro momento (BARDIN, 1977; MORAES, 1999; VERGARA, 2005).

O procedimento executado foi explorar profundamente o material levantado no mapeamento sistemático realizado nesta pesquisa, seguindo o procedimento metodológico orientado por Bardin (1977), fazendo uma releitura do material selecionado no levantamento realizado no mapeamento sistemático, com intuito de gerar unidades de análise, estabelecendo elementos unitários que favoreçam a uma classificação nos próximos passos, conforme recomendações dos autores Moraes (1999) e Vergara (2005). A natureza das unidades foi estabelecida pelo pesquisador em função das finalidades do estudo. Conforme orientações de Bardin (1977) e Vergara (2005), esta natureza pode ser expressa em palavras ou frases, mas necessitando ter um tratamento descritivo de forma a favorecer características sistemáticas e objetivas sobre o assunto pesquisado (BARDIN, 1977; MORAES, 1999; VERGARA, 2005).

O procedimento de eger o material base para a análise de conteúdo já foi baseado em elementos unitários, que foram as respostas codificadas em frases curtas das respostas do mapeamento sistemático. Entretanto, no procedimento de estabelecer as unidades de análises

para esta pesquisa foi refeito uma avaliação dinâmica dos artigos e com base nas orientações de Bardin (1977), foi decidido que o melhor caminho seriam palavras chaves.

Uma das etapas do mapeamento sistemático, detalhada no item 4.2.1.2, consiste em elaborar a *search string*, que é uma organização lógica dos termos [palavras ou frases] a serem pesquisados no estudo. Desta forma, as mesmas palavras chaves utilizadas no mapeamento foram utilizadas para direcionar o início da análise de conteúdo, sendo elas:

- Monitoramento
- Controle
- Aplicação
- Análise
- Estrutura
- Indústria siderúrgica
- Siderurgia
- Método

Entretanto, durante o mapeamento foi identificado as ferramentas que mais estavam sendo utilizadas na indústria 4.0, as ToIndustry4.0, e elas também foram utilizadas como unidades de análise desta análise de conteúdo. O termo ToIndustry4.0 já foi definido no início deste trabalho como a abreviação das ferramentas mais utilizadas na Indústria 4.0, argumento comprovado no mapeamento sistemático realizado nesta pesquisa, referenciadas no mesmo instante. Relembrando:

$$\text{ToIndustry4.0} = \text{Analytics} + \text{BigD} + \text{Cloud} + \text{CPS} + \text{IoT}$$

A conclusão dessa fase foi escolher essas ferramentas para serem os termos que definiram as unidades de análises desta análise de conteúdo, pois essas ferramentas são fundamentais para a implantação e desenvolvimento da Indústria 4.0, estando presentes [mesmo que nem sempre todos juntos] em todos os 25 artigos estudados.

Assim, as unidades de análise foram:

- *Analytics* – software de processamento de dados.
- *BigD* – *Big Data*.
- *Cloud* – Armazenamento de dados virtual – Nuvem.
- *CPS* – Sistemas Ciber-Físicos.
- *IoT* – Internet das Coisas.

Essas unidades precisam ser preferencialmente definidas também com uma unidade de contexto, onde podem ser agrupadas unidades de análise de forma a facilitar o entendimento das diversas unidades de registro (MORAES, 1999). Essa atividade foi realizada dentro do processo de categorização que inicia a próxima etapa.

4.2.3.3 Tratamento dos dados e interpretação

Uma vez que esteja bem definido o conteúdo de análise, as unidades de análises e unidades de contextualização, segue ao passo de agrupar os dados considerando elementos comuns entre eles de forma a elaborar uma síntese da comunicação, destacando os processos e qualidades mais importantes, formulando assim as considerações finais do estudo. O passo de categorizar necessita ser efetuado com exaustividade e criteriosidade, constituindo-se numa reprodução adequada e pertinente deste conteúdo. Entretanto, o fechamento real do trabalho consiste na inferência de conhecimentos relativos à produção dos dados, direcionado assim ao que conduziu esses dados e suas consequências (BARDIN, 1977; MORAES, 1999; VERGARA, 2005).

As unidades de análises foram contextualizadas na síntese que segue abaixo e uma análise numérica realizada nestas unidades, classificadas nos artigos estudados, demonstra que a internet das coisas (IoT) está muito mais presente nos estudos identificados no mapeamento sistemático. Este termo foi identificado 202 vezes nos artigos mapeados. Já os termos Siderurgia e Indústria Siderúrgica aparece muito pouco, somente duas (02) vezes, sendo uma área pouco correlacionada com a implantação da Indústria 4.0. Isto indica que o setor de siderurgia possui poucos estudos orientados para a implantação da Indústria 4.0.

O texto produzido com a síntese dos artigos avaliados e interpretados segue adiante, nesta seção de tratamento dos dados e interpretação. Foi realizado um resumo contextualizado das unidades de análises, de forma coerente, em um panorama da aplicação das ToIndustry4.0 com foco no controle, monitoramento, análise, estruturação e aplicação da Indústria 4.0 no setor industrial. Com relação as ToIndustry4.0, as ferramentas *Analytics* tiveram uma presença menor nos artigos estudados devido ao fato de ser uma tecnologia relativamente mais recente e que está amadurecendo nestes últimos cinco anos, como ressalta Zhong et al. (2017), e foi comprovado nos resultados do mapeamento realizado.

Resumidamente, a análise de conteúdo realizada descreve que:

A quarta revolução industrial é baseada no desenvolvimento de tecnologias digitais, que vem crescendo muito rápido nos últimos tempos, como por exemplo, a computação em nuvem, a Internet das coisas, o *Big Data* e a inteligência artificial (WAN et al., 2018; TAO e ZHANG, 2017). A quarta revolução industrial, Indústria 4.0, propicia a fusão de tecnologias de ponta nos cenários físico, cibernético e biológico para desenvolver novas formas de sistemas ciber-físicos (CALI e ÇAKIR, 2019). Uma evidência desta tendência é que nos últimos anos surgiram diversos novos modelos de administração/execução da manufatura, com uso de recursos digitais, como a produção industrial inteligente, a Indústria 4.0 na Alemanha, Industrial Internet nos Estados Unidos, a *Internet of Things*, o “*Manufacturing White Book of Year 2014*” no Japão, a manufatura com base em Sistemas Ciber-Físico e o *Made in China 2025* na China (TAO e ZHANG, 2017; XU e HUA, 2017; ZHONG et al., 2017).

O termo Indústria 4.0 está correlacionado a transformação digital e é aplicável em todos os setores empresariais, e não somente nas indústrias (SCHWAB, 2018). A Indústria 4.0 tem incentivado uma mudança do paradigma de exclusividade da manufatura da produção em massa para a customização em massa, induzindo à adoção crescente do modo de produção inteligente (ZHOU et al., 2017). Desta forma, mesmo que os modelos e estratégias inteligentes, expostos por Tao e Zhang (2017), estejam em ambientes diferentes, eles compartilham um objetivo comum de buscar empresas inteligentes [estendendo o conceito para além das manufaturas], com o foco em satisfazer as demandas de socialização, personalização, servitização, inteligência e ecologização. Estas estratégias inteligentes apresentam orientações e recursos para conseguir uma interconexão inteligente e interoperabilidade entre o espaço físico e o espaço virtual (TAO e ZHANG, 2017).

As empresas que trabalham na realidade da quarta revolução industrial podem implantar uma interatividade baseada na nuvem, com uma interface baseada na web, para desenvolverem melhores projetos personalizados (LHACHEMI et al., 2019). Em geral, elas possuem diversas máquinas que são altamente configuráveis com os sistemas automatizados de produção, de manuseio de materiais e um sistema de gerenciamento baseado em nuvem, também podendo ser orientado a serviços, que tem o objetivo prioritário de maximizar o lucro da fábrica, compartilhando recursos de manufatura em uma série de pedidos de manufatura (DZIURZANSKI et al., 2018).

Na implementação da Indústria 4.0, com fábricas inteligentes, a comunicação e a rede possuem um papel fundamental. Os protocolos de comunicação adequados pedem um método de modelagem de informações padrão e extensível, o que permite a interação de dados significativos entre máquinas e nuvem. As construções das redes podem ser facilitadas quando esses protocolos utilizam a mesma Ethernet, principalmente em fábricas de grande porte. Desta forma, através dessa solução é possível construir uma base para a integração de conhecimento com dados semânticos que suportam processos inteligentes de *Big Data* industrial (WANG et al., 2017). Uma indústria inteligente trabalha fortemente a integração vertical de dispositivos físicos e sistemas de informação. Neste contexto, duas infraestruturas essenciais para facilitar esse objetivo são a estrutura de rede e uso da *Cloud* (dados em nuvem), facilitando para que quase todos os componentes, materiais, máquinas, produtos e pessoas estejam conectados e os dados em massa gerados devem ser transferidos, armazenados e processados. Desta forma, a rede fornece interconexão para comunicação e fluxo de dados, enquanto a nuvem fornece computação poderosa, elástica e com capacidades de armazenamento, favorecendo o uso de BigD, e aplicativos inteligentes (DARSENA et al., 2019; WANG et al., 2017).

Wang et al. (2017) fazem uma comparação dos sistemas em nuvem com o corpo humano, ao pensar na nuvem como o cérebro da fábrica inteligente. Neste contexto, a rede seria considerada como os vasos sanguíneos e células nervosas de forma a conectar o chão de fábrica com a gestão, da mesma forma que o corpo e o cérebro se conectam. A nuvem é um supercomputador para fornecer recursos de computação e armazenamento sob demanda (WANG et al., 2017). Atualmente o mercado possui dispositivos de rede e processamento com a capacidade de fazer o endereçamento de dados via internet, que estão sendo compartilhados por setores distintos do ramo empresarial. A maioria dos dados medidos atualmente na automação e tecnologias de troca de dados usadas para a fabricação de sistemas, transporte, energia e medicina, possibilita monitoramento de informações de linhas de produção, e até mesmo dados hospitalares, na nuvem atualizados em tempo real utilizando sensores conectados à internet (NIKOUKAR et al., 2018; MOUELHI et al., 2019).

O grande número de recursos de baixo custo de armazenamento e computação que as fábricas inteligentes possuem, baseadas na computação em nuvem, favorecem a reconstrução dinâmica e distribuição otimizada, além de fornecer um suporte confiável para a aplicação de *Big Data* industrial. Com a finalidade de extrair informações completas e valiosas de um sistema BigD de fabricação, utilizam-se algoritmos de aprendizado de inteligência artificial avançados, construídos com uma arquitetura de computação distribuída e paralela, de forma que seja possível aumentar significativamente a velocidade e a eficiência da extração de informações (WAN et al., 2018). Utilizando a tecnologia de BigD e AI, e a conectividade, é possível criar um modelo digital no chão de fábrica também, convergindo os sistemas dos meios físicos ao digital, induzindo inevitavelmente a resolução de problemas e a realizar uma produção e gestão inteligente (TAO e ZHANG, 2017).

Para a implantação da Indústria 4.0, um caminho viável para se realizar a manufatura inteligente é desenvolver uma fábrica inteligente baseada nos Sistemas Ciber-físicos (WAN et al., 2018). Shu et al. (2016), propôs um sistema ciber-físico integrado à nuvem que fornece soluções para aplicativos industriais complexos a partir de três aspectos: gerenciamento de recursos virtuais, programação de recursos em nuvem e gerenciamento de ciclo de vida.

Empresas que trabalham na implantação da Indústria 4.0 procuram, geralmente, tornar a produção inovadora e uma forma de realizar isso é estabelecer uma fábrica inteligente com a utilização de Sistemas Ciber-Físicos (CPS), sendo uma tecnologia de ponta e com rápido

desenvolvimento nos cenários físico, cibernético e biológico, que gera grandes oportunidades para a implantação da Indústria 4.0 (CALLI, 2019; LIU et al., 2017; MOUELHI et al., 2019; XU e HUA, 2017; WAN et al., 2018). O CPS é um mecanismo que possibilita que objetos físicos possam interagir profundamente com softwares, permitindo que componentes diferentes se conectem em uma miríade para criar troca de informações entre eles (PERES et al., 2019; SHAABAN et al., 2018; ZHONG et al., 2017). Por sua vez, este tipo de sistema necessita ser suportado por vários aspectos técnicos, como por exemplo a IoT, a *Big Data*, a computação em nuvem e tecnologias de inteligência artificial (WAN et al., 2018). Utilizando a capacidade de computação poderosa da nuvem é possível estabelecer a base para a construção e operação de modelos digitais sofisticados (TAO e ZHANG, 2017). Através de uma interação construída entre os serviços de software e as entidades físicas, pela infraestrutura da nuvem está se desenvolvendo uma estrutura para fornecer o monitoramento de condição para a manutenção dos equipamentos da produção, mas também proporcionará novos serviços de monitoramento na empresa e um processamento robusto de dados em situações complexas (SHAABAN et al., 2018; TAO e ZHANG, 2017). Utilizando as soluções em nuvem, a empresa tem essas soluções com um custo de instalação e operação reduzido, de forma a facilitar a sua implantação e também a operacionalização. Entretanto, uma atenção deve ser dada aos cuidados com a segurança da informação, que rotineiramente é uma necessidade crítica com as tecnologias da computação. A arquitetura proposta em nuvem possibilita um suporte geral e escalonável para o processo de tecnologia da informação "Just in Time", aplicável nas empresas que estão trabalhando na implantação da Indústria 4.0 (DZIURZANSKI et al., 2018).

As pesquisas sobre os Sistemas Ciber-Físicos (CPS), ressaltados na iniciativa "*Made in China 2025*" e "*Industry 4.0*", visam essencialmente categorizar as fábricas inteligentes baseadas no BigD industrial e internet industrial. Uma aplicação real disto é o apoio de tecnologias de informação sem fio industrial, análise de big data, computação em nuvem, implementação de modelagem de ontologia direcionada para fabricação de produtos de manufatura inteligentes e realização de diagnóstico. Foi identificado, nos artigos estudados, a possibilidade de reconfigurar as linhas de produtos inteligentes através da análise de BigD industrial, que representa valores de pesquisa importantes e urgentes demandas de aplicação realistas (XU e HUA, 2017).

O compartilhamento de recursos propiciado pela implantação da IoT trabalha de forma que todos os recursos de produção possam ser facilmente acessados em redes que possuem padrões mecânicos, elétricos e de comunicação unificados, permitindo então as configurações de recursos de produção de qualquer lugar do mundo (LIU et al., 2017).

Nesta última década a internet das coisas (IoT) está cada vez mais presente dentro da indústria, e ela é uma das principais bases para o desenvolvimento tecnológico. A tecnologia sem fio tem sido, na última década, mais utilizada nas indústrias e sua aplicação na indústria induziu a criação da Internet das Coisas Industriais (IIoT), onde Redes Industriais de Sensores Sem Fio [IWSNs] desempenham um papel fundamental em dar suporte a IoT, atuando como se fosse uma pele digital para ela (NIKOUKAR et al., 2018).

Outra tecnologia em ascensão na Indústria 4.0, principalmente na última década, são os softwares com a função de otimizar a análise de processos industriais e a interpretação de suas condições de funcionamento, categorizados como *Analytics*, que tem conseguido grande evolução na área de monitoramento de condição de máquinas industriais. Analítico está relacionado ao uso de análises, dados e razões sistemáticas para tomar decisões (CARINO et al., 2016; DAVENPORT, 2014). No mesmo período, a última década, foram apresentadas

diversas propostas desenvolvidas para monitorar a saúde das máquinas da linha de produção, onde foi possível mapear de forma sistêmica a condição normal da máquina e a condição com defeito, no qual um software é configurado para ser capaz de realizar comparações para identificar a condição da saúde da máquina instantaneamente com o mínimo de interferência humana. Os equipamentos estão evoluindo na interface máquina x máquina (CARINO et al., 2016).

Empresas que trabalham na implantação da Indústria 4.0 procuram, geralmente, tornar a produção inovadora e uma forma de realizar isso é estabelecer uma fábrica inteligente, que utiliza Sistemas Ciber-Físicos (CPS) em algumas aplicações mais críticas. O CPS é uma tecnologia de ponta, com rápido desenvolvimento nos cenários físico, cibernético e biológico, que gera grandes oportunidades para a implantação da Indústria 4.0 (CALLI, 2019; LIU et al., 2017; MOUELHI et al., 2019; NIKOUKAR et al., 2018; XU e HUA, 2017; WAN et al., 2018). Além disso, o CPS é um mecanismo que possibilita que os objetos físicos possam interagir profundamente com softwares, permitindo que componentes diferentes se conectem em uma miríade para criar troca de informações entre eles (PERES et al., 2019; SHAABAN et al., 2018; ZHONG et al., 2017). Por sua vez, este tipo de sistema necessita ser suportado por vários aspectos técnicos, como por exemplo, o BigD, a computação em nuvem, as tecnologias de inteligência artificial e a IoT (WAN et al., 2018).

A IoT está relacionada com a interconexão de objetos comuns da rotina das pessoas e empresas, causando uma nova revolução na manufatura, processos de logística, consumo e no dia a dia das pessoas (ELOMARI et al., 2018; LIU et al., 2017; NIKOUKAR et al., 2018). Essa interconexão se faz através de redes, com acesso à internet, que podem interagir de forma colaborativa e realizar diversas de atividades de forma autônoma (NIKOUKAR et al., 2018). Estimulados por essa demanda criada pela IoT, o crescimento agressivo no número de dispositivos e sensores que precisam ser conectados à Internet por links sem fio marcará os próximos anos (DARSENA et al., 2019). A IoT ajuda a operação autônoma a descentralizar o processo de tomada de decisão, visto que os sensores e dispositivos estão utilizando estas tecnologias para simular os sentidos humanos, com uma base de dados *Analytics* avançada e trabalhando com *Machine Learn* estão sendo projetadas para realizar operações autônomas com o mínimo de intervenção humana. Essa solução autônoma é muito relevante para diversas aplicações industriais que permitem processos e sistemas inteligentes (NIKOUKAR et al., 2018).

A IoT propiciou uma ponte entre o mundo real e o virtual, fazendo isso graças ao acelerado desenvolvimento de sistemas embarcados, sistemas ciber-físicos, tecnologias sem fio e protocolos de Internet dentro da 4ª revolução industrial, permitindo o monitoramento e o desempenho do mundo físico controlado por sistemas de processamento de dados (BADER e RAHIMIFARD, 2018; NIKOUKAR et al., 2018). Entendendo esse processo e seus requisitos, trabalhar na convergência do mundo real e do virtual é um ponto fundamental, para todos os departamentos, mas considerando que a unidade básica de fabricação é o “chão de fábrica”, convergir o espaço real e virtual neste ambiente é imprescindível (TAO e ZHANG, 2017). A conexão em rede é um item fundamental para a IoT e o fator de sucesso para as tecnologias que possibilitam qualidade de rede é o alcance e consumo de energia. A IoT tem diversos desafios a serem desenvolvidos, tais como confiabilidade extremamente alta, robustez, baixa tolerância a falhas, interoperabilidade e eficiência energética, que precisam ser vencidos, satisfazendo requisitos sistêmicos e desafios estritos que as aplicações industriais possuem nesta quarta revolução industrial (NIKOUKAR et al., 2018).

Outra funcionalidade contributiva da IoT na quarta revolução industrial foi o suporte no desenvolvimento de diversos dispositivos tecnológicos e, principalmente, a conectividade entre eles. Entretanto, a IoT também ressaltou uma questão muito crítica para a segurança da informação, a disponibilidade dos dados na internet, de forma a facilitar acesso por hackers, que deve ser tratada para fornecer acesso digital seguro a esses dispositivos. Em função disso, este é um problema discutido em diversos estudos e existem atualmente algumas normas internacionais, como a ISO 27000 e IEC 62443, para tratar deste assunto. Uma solução recomendada pela norma é dividir o sistema IoT em vários componentes e zonas para ser possível mitigar os riscos de segurança das outras partes de todo o sistema (SHAABAN et al., 2018). Nessa análise de conteúdo, a segurança da informação foi identificada como um fator crítico de sucesso na implantação da Indústria 4.0.

Além da segurança da informação, outro ponto relevante é a capacidade de processamento dos dados, devido a grande quantidade de dados que são gerados nas empresas atualmente. Nas organizações e manufaturas com abundância de dados operacionais e do chão de fábrica, no ambiente BigD, a quantidade e a complexidade dos dados necessitam o uso dos softwares *Analytics* e técnicas avançadas de análises para identificar padrões de comportamentos ocultos, sistemas correlacionados que não estão evidentes, clientes preferenciais, quaisquer outros dados úteis ao negócio e construir tendências (PERES et al., 2019; ZHONG et al., 2017).

Um exemplo de aplicação da ferramenta *Analytics* é sua utilização para resolver problemas recorrentes de programação em fábricas inteligentes, que exige, em muitos casos, o uso de recursos de sistemas da computação consideráveis cada vez que a fábrica precisa de reconfiguração, como acontece na mudança de “*set up*” [configuração] novo na linha de produção. Para amenizar estes problemas, uma solução sugerida por Dziurzanski et al. (2018) é o uso de algoritmos evolutivos *Analytics*, que são particularmente eficazes em tais aplicações. Neste contexto, para diminuir os custos com a aplicação de tal solução pode se realizar o processo de otimização dos dados em nuvens. Aplicação para redução de custos na implantação de softwares de controle e *Analytic*, com o uso da aplicação em nuvem, não exigindo uso de computadores com grande capacidade de processamento, servidores que precisam de constantes manutenções (DZIURZANSKI et al., 2018).

Um caso de sucesso de uso da IoT descrito por Bader e Rahimifard (2018), foi a aplicação de robôs industriais no processamento de alimentos de uma empresa fabricante de comida facilitou muito a implantação da Indústria 4.0, deixando a transição suave e consentirá a utilização de conceitos de IoT, que dá suporte para fornecer aos fabricantes de alimentos melhor rastreabilidade de todos os ingredientes, processos e produtos, melhorando muito as medidas de segurança alimentar e do consumidor. A rotulagem avançada de alimentos foi implementada com a utilização de sensores e tecnologias de detecção. Outra tecnologia aplicada foi utilizar a cadeia de suprimentos integrada para obter resposta do mercado e lançamento de produtos mais rápidos (BADER e RAHIMIFARD, 2018).

O uso da IoT e demais tecnologias da Indústria 4.0 no setor industrial tem gerado derivações do termo, conforme sua utilização. Liu et al. (2017) definiram o termo MIIoT – *Manufacturing Internet of Things* – para representar a manufatura direcionada para uso da IoT, com duas características importantes, sendo o compartilhamento de recursos e a colaboração de processos, através de uma integração profunda entre manufatura e IoT (LIU et al., 2017). Assim, a MIIoT busca vincular de forma próxima organizações, recursos, informações, objetos e pessoas por meio de protocolos padrão da internet, ressaltando ainda a importância do controle

de acesso no compartilhamento de recurso para a segurança das operações (LIU et al., 2017; NIENKE et al., 2017).

Seguindo a linha das derivações, Shaaban et al. (2018) apresentou um conceito de utilização da IoT inteligente, estruturada de forma combinada com a computação de ponta, a web semântica e a computação em nuvem, chamada de *Cloud Web of Things* [CloudWoT]. A base estrutural é baseada em diversos componentes tecnológicos mais avançados e novas tecnologias, como robótica, automação inteligente e controle industrial, Internet das coisas (IoT), *Big Data* e a *Cloud*. Os recursos existentes da IoT são modelados de forma a propiciar um maior poder computacional, armazenamento, memória e menor consumo de energia. Essa técnica é utilizada com uma metodologia de comunicação padrão, com a intenção de resolver a heterogeneidade entre as “coisas” e outros recursos da nuvem. Os problemas de ciber segurança da *Cloud*, IoT e tecnologias da web semântica foram melhorados, sendo uma alternativa para esse problema discutido em diferentes estudos (SHAABAN et al., 2018).

Derivações dos sistemas CPS, como por exemplo um CPS com base em um sistema de transporte inteligente, automação e controle industrial, exigem atributos de confiabilidade, baixa latência e baixo consumo de energia (NIKOUKAR et al., 2018). Continuando com as derivações dos conceitos, alguns pesquisadores, como Monostori (2014) e Mourtzis (2016), estão estudando o CPS aplicado direto a produção e definindo-o como Sistema de Produção Ciber-Físico [CPPS]. Muito similarmente, Yu et al. (2017) define o Sistema de Manufatura Ciber-Físico [CPMS]. Estes sistemas têm o potencial de conseguir uma forma mais descentralizada de funcionamento integrado e são um novo paradigma de sistemas de manufatura, que integram sistemas cibernéticos e sistemas físicos para auxiliar a manufatura inteligente (YU et al., 2017; TAO e ZHANG, 2017).

A interatividade e interconectividade presente na rotina das empresas está sendo a cada dia mais normal. De uma perspectiva vertical, essa normalidade significa que os fatores de produção, sendo eles os equipamentos, materiais, ambiente e recursos humanos, estão utilizando o ambiente de rede, com a IoT, para transmitir dados para o espaço virtual e recebem ordens de controle dele. Já na perspectiva horizontal, as empresas regulam o comportamento de si próprios ou de outros em um alvo global (TAO e ZHANG, 2017).

O conceito da Indústria 4.0 se desenvolveu muito nos últimos anos. O avanço tecnológico está caracterizado por atributos como a capacidade de criar uma única fonte de verdade, o progresso da globalização da tecnologia da informação, o fortalecimento da cooperação mundial e a automação avançada. Todo o ecossistema empresarial e digitalização de ponta a ponta dos ativos físicos são incentivados pela Indústria 4.0. Desta forma, produtos digitais, integração vertical e horizontal e modelos de negócios digitais são áreas centrais de transformação nas empresas (SCHUH et al., 2019).

4.3 Etapa 3 – Síntese da pesquisa

A figura 15 ilustra o processo estruturado da metodologia DSR – *Design Science Research*, aplicada nessa pesquisa. O estudo realizado aqui utilizou os dados do mapeamento para estruturar atributos que as empresas que estão implantando a Indústria 4.0 possuem, buscando o estado da arte nos artigos estudados. Juntando a isso ao estudo feito para identificar os melhores métodos de mensurar a maturidade destas empresas, conseguimos um arcabouço sobre o assunto quarta revolução industrial. A síntese desta pesquisa está ilustrada na figura 15 de forma a facilitar o entendimento de todo o processo.

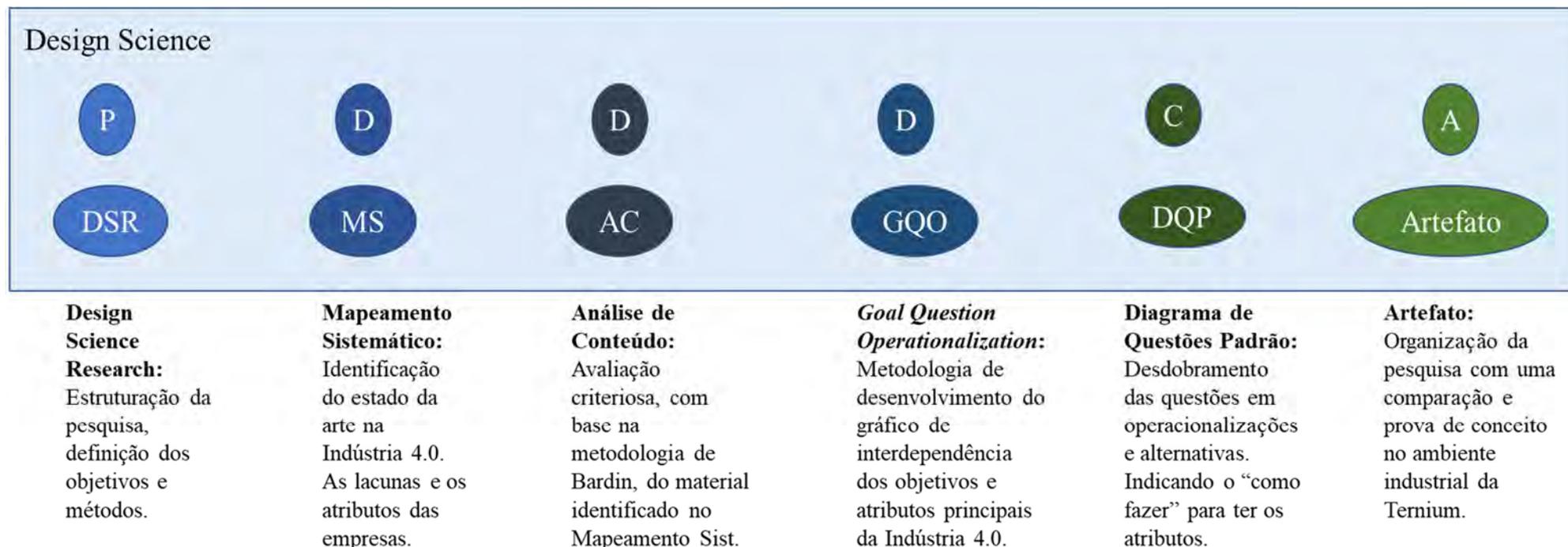


Figura 15: Estrutura da pesquisa, fundamentada em Design Science. Elaborado pelo autor.

Conforme pode ser visualizado, a pesquisa foi estruturada com base no ciclo proposto por van Aken e Romme (2014), utilizando métodos de pesquisa de mapeamento sistemático, análise de conteúdo e GQO, para desenvolver o artefato que possa facilitar o entendimento da realidade das empresas que trabalham a implantação da Indústria 4.0. Esse artefato foi elaborado para identificar as diretrizes que fundamentaram o departamento SBMO.

O artefato foi desenvolvido com base no SIG, detalhando cada atributo em NFRs que foram estruturadas em diagramas, para compor as alternativas. O desenvolvimento foi realizado seguindo as recomendações de Leal et al. (2015), que segue o modelo de Supakkul e Serrano, desenvolvendo as questões a partir dos atributos buscando elaborar as perguntas que uma vez respondidas, direcionaram para como conseguir os atributos. Este ciclo de padronização das NFRs está ilustrado na figura 16.

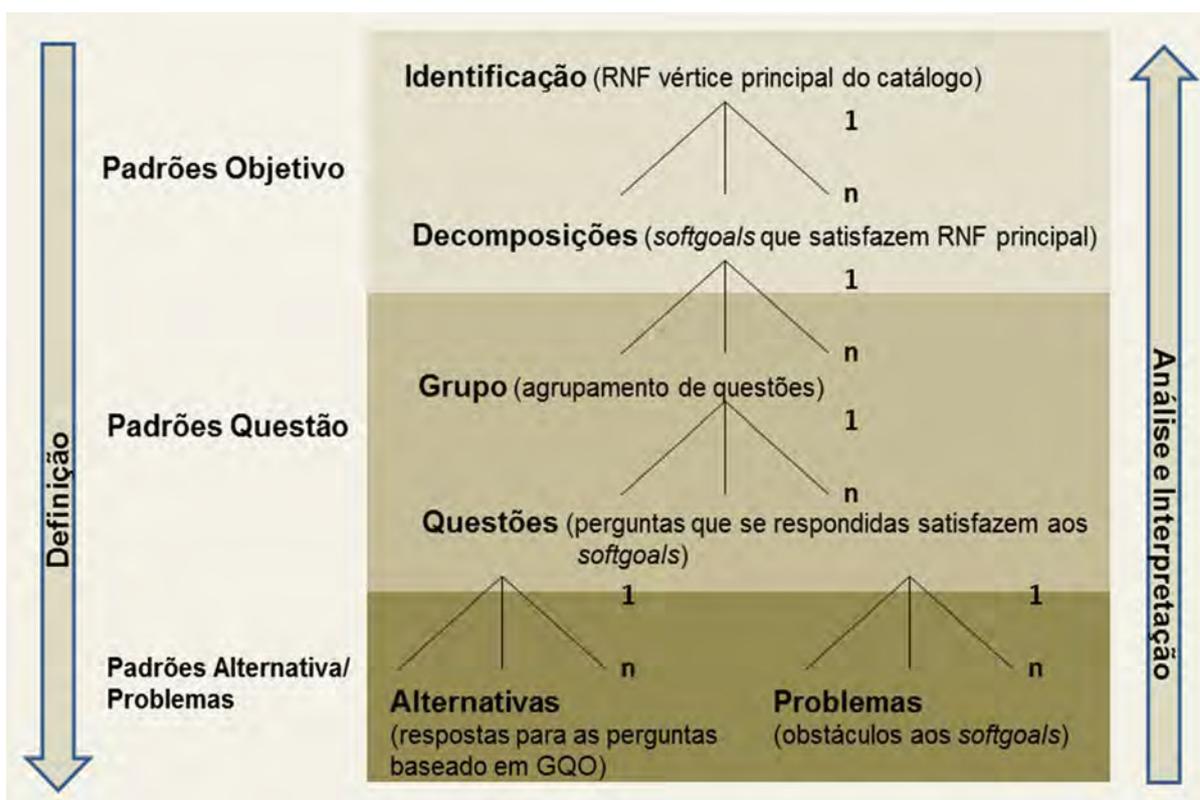


Figura 16: Padrões NFR. Adaptado de Leal et al. (2015).

Os objetivos foram definidos e padronizados através de um desdobramento dos mesmos até as alternativas, onde foi utilizado as informações do mapeamento sistemático, da Análise de conteúdo, dos livros de Schwab (2016 e 2018), o material da Acatech (2020) [o principal], dos artigos de avaliação de maturidade na implantação da Indústria 4.0, mas também outros artigos pesquisados nesta pesquisa, que estão nas referências.

Com as NFRs, o SIG elaborado, os DQP elaborados e as alternativas desenvolvidas, foi utilizado as informações da Ternium Brasil para realizar as análises, interpretações dos resultados, comparações e provas de conceitos para fechar a avaliação do artefato. Depois padronizando e organizando todas as informações de forma estruturada para o encerramento da pesquisa.

Estes resultados estão expostos na etapa 5. No próximo tópico é explicado como foi elaborado do Design, criado o SIG e os DQPs.

4.4 Etapa 4 – Proposição do design

Relacionar uma empresa ao seu meio ambiente é o embasamento para a elaboração de uma estratégia competitiva, que serão ações ofensivas ou defensivas para suportar a empresa a enfrentar os concorrentes e ter maior sucesso nas negociações com os clientes e fornecedores (PORTER, 2004). Para conseguir obter benefícios significativos ao negócio, a implantação das ToIndustry4.0 e qualquer outro recurso adicional das tecnologias da indústria 4.0 devem estar alinhadas a estratégia da empresa. Desta forma, ter uma maturidade exemplar na implantação da Indústria 4.0 necessita resultar no aumento do valor agregado dos ativos da empresa (GÖKALP et al., 2017; SCHUMACHER et al., 2016; SCHUH et al., 2020; SCHWAB, 2018).

4.4.1 Definição da abordagem

O modelo de maturidade proposto por Gökalp et al. (2017) é um bom modelo, mas foi estudado muitos outros, que estão listados no quadro 05, para validar o método que é mais completo e bem estruturado. Muitos deles descreverem os resultados de pesquisas em que foram desenvolvidos modelos de maturidade e ferramentas relacionadas para avaliar sistematicamente o estado de desenvolvimento das empresas manufatureiras em relação à visão da Indústria 4.0 (SCHUMACHER et al., 2016).

Schumacher et al. (2016) realizaram um estudo comparativo de diversos modelos de maturidade para elaborar o seu próprio, apresentando uma tabela onde os organiza para fins comparativos (do leitor). O seu padrão será dotado como modelo para expor os modelos que já foram identificados nesta pesquisa com suas características, o quadro 5.

Quadro 5 (Continua): relação de modelos de maturidade avaliados. Fonte: Modelado com base na tabela de Schumacher et al, (2016), completado pelo autor.

Modelo	Instituição / Recurso	Abordagem de avaliação
IMPULS – Prontidão da indústria 4.0 (2015)	VDMA, RWTH Aachen, IW Consult.	Avaliação em seis dimensões incluindo dezoito itens para indicar a prontidão das empresas em cinco níveis; No procedimento são definidas barreiras para avançar para a próxima etapa, bem como conselhos sobre como superá-las (SCHUMACHER et al, 2016).
Estratégia de implantação e empoderamento na indústria 4.0 (2016)	Lanza et al.	Avaliação da maturidade da Indústria 4.0 como uma verificação rápida e parte de um modelo de processo para realização. Analisando as lacunas e caixas de ferramentas para superar barreiras de maturidade. Neste modelo não há detalhes sobre itens e processo de desenvolvimento oferecidos (SCHUMACHER et al, 2016).
Auto-avaliação de operações digitais na indústria 4.0 (2016)	Pricewater - houseCorpers	Auto-avaliação on-line em 6 dimensões; dando foco a maturidade digital em quatro níveis. A aplicação como ferramenta de consultoria como taxa de avaliação é necessária em três das seis dimensões. Ele não tem detalhes sobre itens e processos de desenvolvimentos oferecidos (SCHUMACHER et al, 2016).
Modelo de maturidade empresarial conectado (2014)	Rockwell Automation	Este modelo de maturidade é parte de uma abordagem em cinco estágios para implantar a Indústria 4.0. O foco da avaliação é dado em tecnologia em quatro dimensões. Ele não apresenta detalhes sobre itens e processos de desenvolvimento oferecidos (SCHUMACHER et al, 2016).
I 4.0 Reifegradmodell (2015)	FH – Oberösterreich	A avaliação da maturidade é medida em três dimensões, incluindo treze itens para indicação da maturidade. Esta maturidade é avaliada em dez níveis. Ele não apresenta os detalhes sobre itens e processo de desenvolvimento oferecidos (SCHUMACHER et al, 2016).

Quadro 5 (Continuação): relação de modelos de maturidade avaliados. Fonte: Modelado com base na tabela de Schumacher et al, (2016), completado pelo autor.

Modelo	Instituição / Recurso	Abordagem de avaliação
Modelo of department of industrial and management systems engineering, USA (2018)	Mittal et al.	Neste modelo foi identificado os requisitos específicos das pequenas e médias empresas (PMEs) de fabricação, para o processo foi realizado uma revisão da literatura dos atuais modelos de maturidade das PMEs e discutido como esses modelos de maturidade refletem os requisitos específicos das PMEs.
Informatics Institute, Turkey (2017)	Gökalp et al.	Modelo de maturidade elaborado com o objetivo de apoiar as empresas em uma transição bem-sucedida dos sistemas e processos de produção na situação que se encontra para uma "Produção inteligente", "Fabricação inteligente", "Indústria integrada", "Indústria conectada" ou "Internet industrial", que abrange equipamentos de fabricação distribuídos e interconectados, e requer sistemas inteligentes, uma prática de engenharia adequada e ferramentas relacionadas.
Leibniz information centre for economics (2016)	Ganzarain e Nekane.	Para a confecção deste modelo, são identificados e analisados sete modelos e foi comparado suas características de escopo, objetivo, completude, clareza e objetividade. A conclusão foi que para satisfazer a necessidade de um modelo estruturado de avaliação / maturidade da Indústria 4.0, foi criado uma base comum para realizar uma avaliação do estabelecimento das tecnologias da Indústria 4.0 e orientar as empresas a alcançar um estágio de maturidade mais alto, a fim de maximizar os benefícios econômicos da Indústria 4.0.
Institute Engineering German Acatech (2020)	acatech STUDY – Schuh et al.	O Acatech Industrie 4.0 Maturity Index apresenta um estudo compilado da primeira edição do estudo realizado em 2017, e depois teve uma revisão em 2020, que foi desenvolvido com o objetivo de fornecer às empresas um guia para a introdução e implementação do processo de transformação digital necessário. Este guia compreende um modelo de maturidade em seis estágios, no qual a obtenção de cada estágio de desenvolvimento oferece benefícios adicionais.

O estudo desenvolvido pelo instituto alemão ACATECH (2020), foi avaliado como a pesquisa mais completa dentre as que foram estudadas, estando alinhada com os modelos descritos anteriormente, mas com uma melhor organização. A Acatech – Academia Alemã de Ciências da Engenharia - é a academia nacional e a voz da engenharia na Alemanha e também no exterior, financiada pelo governo federal alemão. O modelo dela define a quarta revolução industrial (Indústria 4.0) como tecnologias que trabalham em tempo real, com alto volume de dados, e com uma comunicação multilateral e interconectividade entre sistemas cyber-físicos e pessoas. A disponibilidade de grandes quantidades de dados e informações a preços acessíveis e – se necessário – de forma contínua e instantânea, permite uma melhor compreensão de como as coisas se relacionam e fornece a base para processos de tomada de decisão mais rápidos. A

implementação estratégica da Indústria 4.0, de acordo com a abordagem sistemática descrita neste estudo, facilita não apenas a introdução de projetos-piloto, mas também a expansão em toda a empresa, essencial para agregar valor (SCHUH et al., 2020).

Segundo Schuh et al., (2020), o objetivo da transformação é criar uma empresa ágil e de aprendizado, capaz de se adaptar continuamente às mudanças nas condições, graças ao uso das tecnologias relevantes, aprendizado organizacional e processos de tomada de decisão que tiram proveito da alta qualidade dos dados disponíveis mais rapidamente. A empresa ágil e de aprendizado tem a capacidade de ocupar os pontos de controle digitais mais importantes. Assim, o Índice de Maturidade da Acatech Indústria 4.0 fornece às indústrias manufatureiras as orientações sobre como criar seu próprio caminho individual, com o intuito de se tornar uma empresa ágil, de aprendizado e que tais medidas trarão benefícios concretos. Sendo objetivo, a intenção deste estudo é fornecer à Ternium, e qualquer empresa, diretrizes estratégicas para estimar como está o seu nível de maturidade, baseado no conceito de Indústria 4.0 e fornecer medidas concretas para ajudar as empresas a alcançar um estágio de maturidade mais alto, a fim de maximizar os benefícios econômicos das tecnologias surgidas na quarta revolução industrial, sendo principalmente as ToIndustry4.0.

No modelo estabelecido pela Acatech, para a empresa atingir a excelência na implantação completa da Indústria 4.0, é necessário percorrer um caminho que compreende seis estágios de desenvolvimento. O novo estágio sempre se baseia no resultado da etapa anterior. O procedimento descreve os recursos necessários para atingir bons resultados e os benefícios conseguidos pela empresa, como pode ser verificado na figura 17. Desta forma, a capacidade da empresa se desenvolver no contexto da Indústria 4.0 seja construída passo a passo, isto é, os benefícios do primeiro estágio podem ser alcançados com um nível de capacidade menor do que o estágio dois (SCHUH et al., 2020). O processo de transformação é uma jornada contínua de muitas etapas sucessivas, executadas de forma incremental e pode não ser perfeitamente sincronizada entre negócios, plantas, linhas e células (SCHUH et al., 2020; STEFAN et al., 2018).

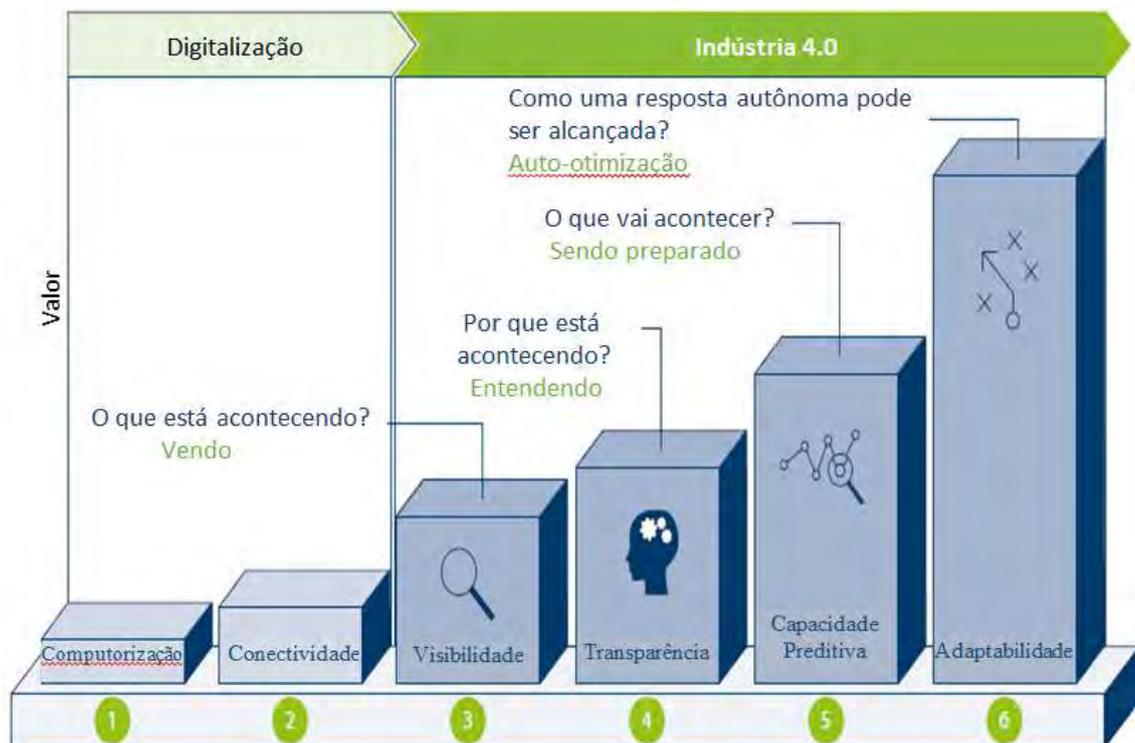


Figura 17: Estágios do mapeamento do nível de maturidade proposto pela Acatech. Fonte: SCHUH et al., 2020.

Os dois estágios iniciais são considerados como a digitalização e são basicamente os conceitos difundidos e implantados na terceira revolução industrial, estando mais orientados a automatização e digitalização dos processos. Mesmo sendo conceitos já difundidos a muitos anos, a realidade é que muitas empresas ainda não conseguiram implantar e se beneficiar realmente da digitalização e ainda não conhecem as vantagens da Indústria 4.0 (SCHUH et al., 2020).

O processo de avaliação da Acatech é aplicado em três fases sucessivas, que estão ilustrados na figura seguinte. Inicialmente, é identificado em qual estágio de maturidade atualmente a empresa se encontra, avaliando diversas áreas funcionais da empresa. Essa classificação é realizada identificando se a empresa possui diversas qualidades e/ou características que empresas evoluídas na implantação da Indústria 4.0 possuem. As capacidades são verificadas com base nos processos de negócios nas áreas funcionais. Através de um questionário esses setores são avaliados, em um processo que classifica as capacidades de cada setor. O questionário possui diversas perguntas com respostas de múltiplas escolhas vinculadas aos seis estágios de desenvolvimento (SCHUH et al., 2020).



Figura 18: As três fases da avaliação de maturidade da Acatech. Fonte: Traduzido de SCHUH et al., 2020.

No desenvolvimento desta pesquisa não foi possível ter acesso aos formulários formais utilizados pela Acatech, o que impossibilitou uma aplicação prática na Ternium. Entretanto, foi identificado um exemplo de pergunta, como ilustrado na figura 19, e outras descrições expostas no texto que nos permitiram embasar a última etapa desta pesquisa para a prova de conceito e comparação teoria e prática.

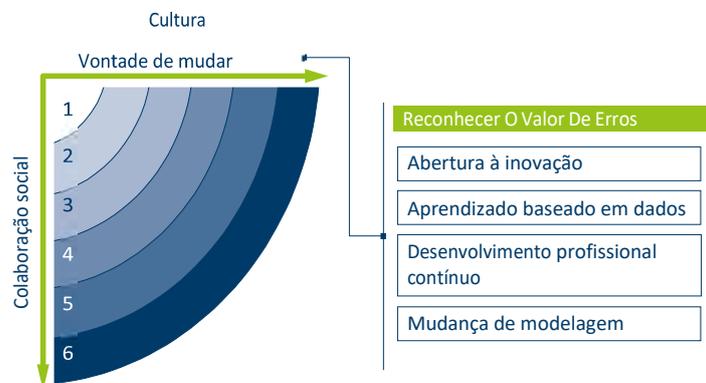


Figura 19 (Continua): Exemplo de pergunta do questionário Acatech. Fonte: Traduzido de SCHUH et al., 2020.

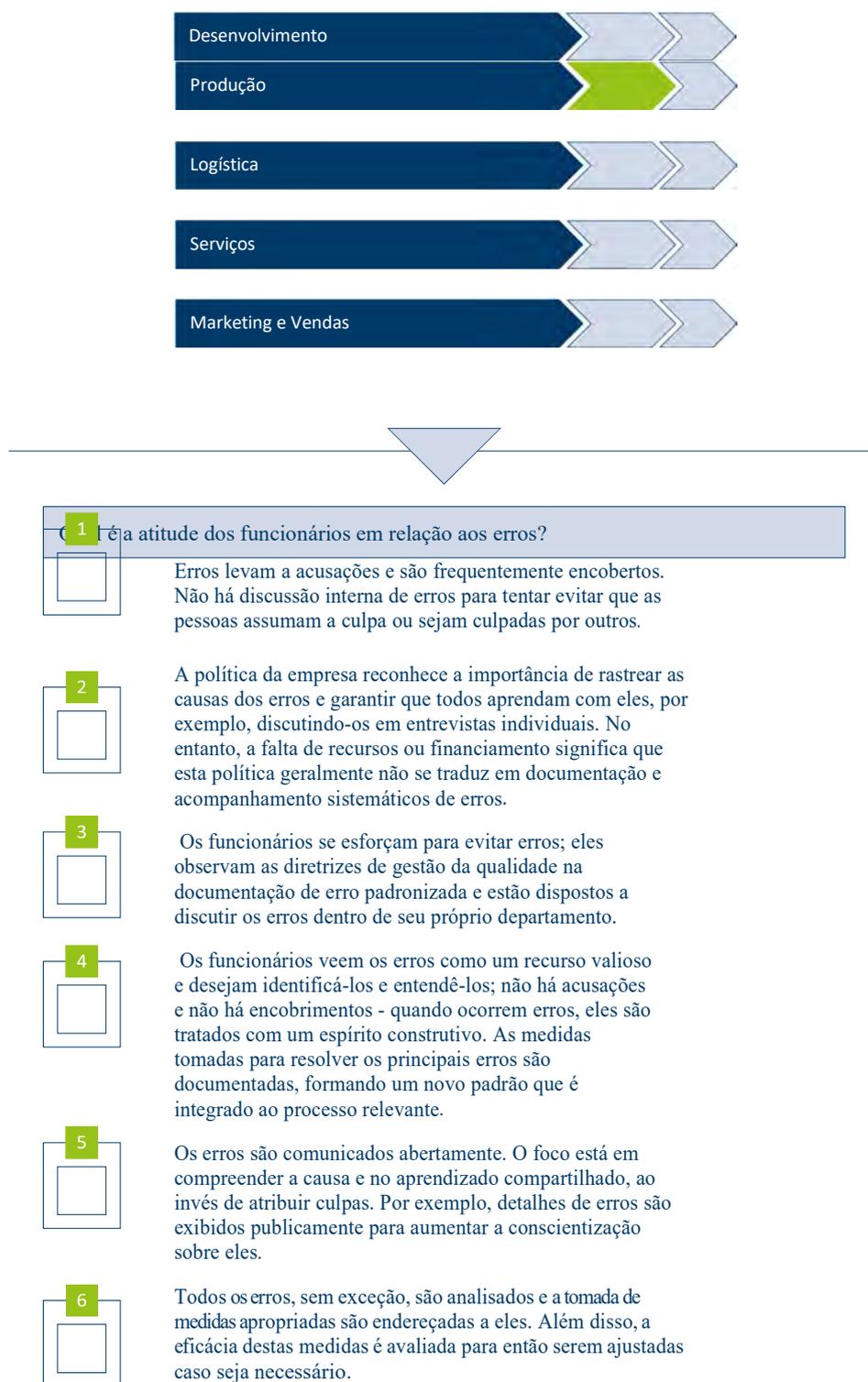


Figura 19 (Continuação): Exemplo de pergunta do questionário Acatech. Fonte: Traduzido de SCHUH et al., 2020.

Após o término da avaliação geral, através da média dos valores das notas de maturidade das áreas funcionais é possível estabelecer a maturidade da empresa toda. Uma empresa sempre possui projetos de iniciação no Indústria 4.0 de descentralizada e a empresa acaba tendo áreas com desenvolvimentos distintos (SCHUH et al., 2020).

No segundo estágio a companhia vai estabelecer as metas de desenvolvimento que deseja atingir ao final do processo de transformação digital, tendo como base sempre o alinhamento estratégico da empresa. Para identificar as capacidades técnicas e materiais que a empresa necessita é realizado uma análise de “*gap*” (SCHUH et al., 2020). Uma representação gráfica das pontuações permite um melhor efeito visual que facilita a rápida determinação do estágio médio de maturidade e destaca as diferenças no estágio de desenvolvimento das quatro áreas estruturais que são consideradas como pilares do processo Acatech (2017), sendo a Cultura, os Recursos, o Sistema de Informação e a Organização, como pode ser visualizado na figura 18. O principal objetivo de compreender como as diferentes áreas estruturais se comparam entre si é garantir que elas sejam desenvolvidas a uma taxa semelhante. Desta forma, é recomendado que as empresas comecem, como regra geral, abordando aquelas áreas que necessitam de um plano para atingir o mesmo estágio de maturidade para todas as quatro áreas estruturais, assim conseguindo alcançar a consistência do estágio de maturidade, para que os benefícios completos dessa etapa de maturidade áreas sejam reais (SCHUH et al., 2020).

Por último, no terceiro estágio é elaborado um mapeamento formulando ações que para desenvolver as capacidades identificadas no segundo estágio, dando novamente uma atenção maior as áreas mais necessitadas. Em função dos processos terem sido avaliados de forma individual, se torna possível direcionar as ações de melhorias com muita precisão. Com base nas capacidades inexistentes nas quatro áreas estruturais principais, as medidas são deduzidas (SCHUH et al., 2020). Todas as ações das empresas devem estar alinhadas a estratégia competitiva da empresa e sendo monitorada por indicadores estratégicos para garantir o sucesso dos resultados (NORTON e KAPLAN, 2019; PORTER, 2004). Por isso as ações desta terceira fase precisam estar alinhadas também ao plano estratégico e com um acompanhamento baseado em custo-benefício. Uma melhora do indicador no painel de monitoramento deve ser resultado do desenvolvimento da qualidade relevante, possibilitando que os benefícios de uma determinada medida sejam avaliados. Assim, é possível usar este acompanhamento para definir a prioridade da implantação das ações (SCHUH et al., 2020).

Todos estes modelos estudados, principalmente o da Acatech (2020), foram utilizados como base para identificar quais as características das empresas que estão desenvolvendo estratégias para implantar a Indústria 4.0, isto é, quais são as qualidades e atributos que elas possuem. Desta forma, montando um arcabouço para fundamentar o SIG.

4.4.2 Elaboração do SIG

O SIG – *Softgoal Interdependency Graph* – traduzindo, Gráfico de interdependência de Objetivos – é uma forma gráfica de mostrar objetivos decompostos de maneira padronizada e organizada (DA CRUZ e LEAL, 2014). O SIG foi desenvolvido a partir das principais qualidades usadas para nomear os níveis de maturidade do modelo da Acatech (2020). A partir destes atributos, sendo: a visibilidade, a transparência, a capacidade preditiva e a adaptabilidade, foram se desdobrando todos os outros atributos com base no método GQO – *Goal Question Operationalization* – e para tal foi consultado os outros modelos que constam no item 4.4.1, quadro 5, para dar maior fundamentação teórica ao SIG.

O modelo da Acatech tendo sido definido, através do estudo comparativo descrito no item 4.4.1, foi tomado ele como o ponto de partida. Estudado as características de qualidade que são descritas para as empresas em todos os níveis de maturidade, para identificar as relações de dependências entre seus elementos e suas contribuições para desenvolvimento gráfico do SIG (CAPPELLI, 2009).

Os quatro níveis de maturidade são nomeados com atributos. Desta forma, foram identificados como os principais, estando na hierarquia inicial para desdobramento do SIG, conforme já mencionado acima.

Cada empresa terá um caminho diferente para implantar a Indústria 4.0. Depois da identificação dos objetivos, se segue fazendo uma análise e medições para saber até que ponto a Indústria 4.0 está implantada na parte relevante do negócio, estabelecendo quais as tecnologias e sistemas já implementados e como funcionam na empresa. Desta forma, utilizam-se esses resultados para planejar como atingir as qualidades que a empresa precisa desenvolver para elevar o nível de maturidade na implantação da Indústria 4.0 até onde for necessário, para satisfazer as exigências do plano estratégico da empresa (SCHUH et al., 2020).

De forma resumida, a descrição acima do método de avaliação da Acatech é fundamentada no levantamento das qualidades que já existe na empresa, comparando com aquelas que ela precisa desenvolver, que é a análise de “*gap*”. As empresas não precisam possuir máxima maturidade em todas as qualidades para seguir para o próximo nível de maturidade, mas sim ter atributos mínimos que a suportem no próximo patamar. Como o nível desejado dependerá da estratégia de cada empresa, as qualidades que elas terão também variarão (SCHUH et al. 2020; SCHWAB, 2016; STEFAN et al., 2018).

A visibilidade é a denominação do nível inicial de maturidade no modelo da Acatech (2017) e descreve as empresas que estão neste nível como aquelas que têm a capacidade de visualizar os dados. Este é um conceito comum nos modelos estudados, com a diferença de não se usar este termo. A visibilidade é, de acordo com a lexicologia da língua portuguesa, o atributo ou condição do que é visível (DICIO AULETE, 2021; DICIO DICIO, 2021; DICIO MICHAELS, 2021). Nesta pesquisa ela foi definida como a capacidade que as empresas têm de medir, monitorar e controlar os dados/indicadores (KPIs).

Entrando no conceito 4.0, as empresas necessitam alterar a maneira que pensam sobre esta área. Medir não está relacionado somente a coletar dados com o intuito de realizar análises específicas, mas sim de ser capaz de criar um modelo aceitável e atualizado de toda a empresa, em todos os momentos, de uma forma que não esteja vinculado a análises de dados individuais. Fazendo isso de maneira eficiente, que hoje é facilitado pela combinação de fontes de dados existentes com sensores no chão de fábrica. Possibilitando aceitar os dados ou condições que são monitoradas e permitir respostas mais rápidas às mudanças (SCHUH et al., 2020). Das qualidades descritas, essa capacidade de aceitar naturalmente a visibilidade, no caráter de ser aceitável, foi definida como aceitabilidade. Essa capacidade de compreender os modelos aceitáveis, juntamente a seus fatos atualizados, foi definida como a compressibilidade dos sistemas. Finalizando, essa capacidade de atuar de forma eficiente para permitir respostas rápidas a mudança foi definida como agilidade. Os sistemas de softwares, como ERP (*Enterprise Resource Planning*) e MES (*Manufacturing Execution Systems*) possuem atualmente integrações, abordagem modulares e aplicativos que fornecem uma imagem mais abrangente da visibilidade e ajudam a construir a única fonte da verdade, para que seja possível compreender aquilo que está explícito, assim como interpretar também aquilo que está implícito (ANTONIADIS et al., 2015; SCHUH et al., 2020). Empresas que possuem essa capacidade, tem mais facilidade de entender o que está implícito, possuem a sagacidade.

No próximo estágio de maturidade no modelo Acatech (2020), o nível da transparência, a empresa desenvolve a capacidade de saber utilizar as qualidades de medir, aceitar e tratar os dados. Desta forma, começa a criar padrões, identificados no estágio anterior, para ter a capacidade de entender os dados gerados e transformá-los em informações. As empresas que possuem um nível de maturidade exemplar no nível da transparência aprendem com seus erros, usando os dados capturados para ser analisados com o conhecimento de engenharia (SCHUH et al., 2020).

Todos os dados monitorados e controlados devem ter interação para serem utilizados de forma a prover informações de como está a condição do negócio, a “saúde” da empresa. Os autores do estudo Acatech (2020) definiram isso como a “Sombra Digital” da empresa. Segundo Schuh et al. (2020), produzir uma sombra digital é um grande desafio para muitas empresas. A

sombra digital é um modelo digital da empresa, isto é, o mapeamento de todas as informações críticas, ou no mínimo importantes, para a empresa e que são coletadas instantaneamente. Um problema é que geralmente não há uma única fonte de consulta e os dados costumam ser mantidos em departamentos descentralizados. Além disso, para funções como produção, logística e serviços, muitas vezes ainda ocorre que poucos dados são coletados, mesmo em processos centralizados (SCHUH et al., 2020). É possível representar os processos de negócios através de modelos que tem informações suficientes para descrever o funcionamento da empresa (CAPPELLI, 2009).

A sombra digital é uma ferramenta muito importante na evolução da maturidade das empresas, como dito por Schuh et al. (2020), então uma empresa com o objetivo de evoluir nessa implantação precisa ter a capacidade de criar essa sombra digital. Entretanto, é fundamental que a empresa tenha capacidade de dar entendimento a esse modelo, para que ele seja transparente a toda a organização (CAPPELLI, 2009), isto é, ser entendível. Desta forma, contribuindo para que essas informações da empresa possam ser tratadas pelos sistemas computacionais em ambiente softwares e utilizar as ToIndustry4.0 para melhorar os resultados. A essa qualidade foi dado nesta pesquisa a denominação de modelabilidade, a capacidade de criar um modelo digital [sombra digital]. De acordo com este contexto, outro problema é que os departamentos não se comunicam e os dados não são correlacionados na maioria das empresas, dificultando a interação (SCHUMACHER et al., 2016). As empresas que possuem essa capacidade de integrar os seus sistemas e informações, isto é, de ser integrável, são consideradas como aquelas que possuem a qualidade de integrabilidade.

Tendo esse nível de maturidade para utilizar informações e estudar os eventos ocorridos, as empresas são capazes de entender os “por que” dos acontecimentos e usar isso para produzir conhecimento através de análises de causa raiz dos eventos, onde o nível de intelecto e capacitação de seus colaboradores é muito importante (SCHUH et al., 2020; SCHWAB, 2016).

A excelente competência técnica e comportamental dos colaboradores é um atributo das empresas que possuem uma maturidade exemplar na indústria 4.0 (SCHUMACHER et al., 2016), Empresas ágeis e que aprendem dão grande importância aos erros e acertos, isto é, as lições que são adquiridas com as experiências. Essas empresas entenderam que os processos de aprendizagem e mudança só podem ser acionados por lições apreendidas (SCHUH et al., 2020). Racionalidade é, de acordo com a lexicologia da língua portuguesa, a capacidade de raciocinar com a tendência para entender (compreender) os fatos e/ou ideias tendo em conta a razão (DICIO AULETE, 2021; DICIO DICIO, 2021; DICIO MICHAELIS, 2021). Alinhando os conceitos e vocabulários, o termo racionalidade foi utilizado nessa pesquisa como atributo às empresas que possuem a capacidade de produzir conhecimento através das análises de causa raízes dos problemas.

O quinto estágio de maturidade do modelo da Acatech (2020) é a capacidade preditiva. As empresas que estão com nível de maturidade exemplar tem a capacidade de utilizar os dados levantados, medidos e controlados para transformá-los em informações entendíveis da condição atual, e com esse mapeamento ela é capaz de simular diferentes cenários futuros e identificar os mais prováveis. Essa previsão é possível com a projeção da sombra digital para o futuro, mas essa capacitação depende de como foi o desenvolvimento dos níveis anteriores. O conhecimento das interações importantes combinado com uma sombra digital adequadamente construída é a base para que as previsões e as recomendações baseadas neste modelo sejam assertivas (SCHUH et al., 2020). A característica de tudo o que pode ser variável é a variabilidade (DICIO AULETE, 2021; DICIO MICHAELS, 2021) e nesta pesquisa esta qualidade foi adotada para definir a capacidade de simular os cenários diferentes, isto é, de serem variáveis. Uma empresa com esta qualidade bem disseminada, isto é, com maturidade neste atributo busca se tornar ágil e que retém conhecimento com o histórico [que aprende], tendo a capacidade de se adaptar continuamente em um ambiente disruptivo (SCHUH et al.,

2020) e o termo atribuído nesta pesquisa a essa qualidade, de mudar conforme os diferentes cenários, foi dinâmabilidade. As empresas com capacidade de transmitir uma declaração válida, com postura firme perante uma afirmação, ou uma negação, possuem a qualidade de assertividade.

Nesta pesquisa foi adotado uma definição do atributo de proatividade para fundamentar a capacidade preditiva uma necessidade identificada no estudo da Acatech (2020), de que os colaboradores busquem entender e se antecipar aos problemas. A proatividade é definida como a característica de quem busca identificar ou resolver os problemas por antecipação, com antecedência; presteza, diligência (DICIO DICIO, 2020; DICIO MICHAELS, 2021) e foi adaptada aqui nesta pesquisa no contexto de ser a capacidade de se antecipar as alterações no ambiente, interno ou externo. A proatividade difundida nos colaboradores é fundamental para que seja possível sistematizá-la nos níveis mais elevados de maturidade (SCHUH et al., 2020).

A automatização das tomadas de decisões e de elaboração de ações automatizadas não é possível sem uma capacidade preditiva implantada de forma adequada. A implantação das ToIndustry4.0 junto a adaptação contínua possibilita que as empresas evoluam no caminho de delegar decisões aos sistemas de TI, de forma que eles ajudem as empresas a se adaptar as constantes mudanças do ambiente de negócios (SCHUH et al., 2020; SCHWAB, 2016). As empresas que conseguem prever os cenários futuros, tem maturidade na capacidade preditiva, elas precisam ter preparação para que os colaboradores e executivos tomem as decisões necessárias para potencializar as oportunidades e minimizar as ameaças com base nessas previsões. Esta qualidade de tomar decisões de forma a levar aos melhores resultados é a adaptabilidade, que é o último nível de maturidade do modelo da Acatech (SCHUH et al., 2020).

O nível de complexidade das decisões e a relação custo-benefício que definirá qual o grau de adaptabilidade da empresa. Novamente é necessário estar alinhado as estratégias e grau de risco que a empresa vê viabilidade de correr. Automatizar decisões envolve a necessidade de que as assertividades das decisões estejam maduras, mas também que elas sejam objetivas de forma a transformar as decisões em ações. Em geral, as empresas iniciam automatizando processos individuais, de forma a se adaptar a manter os processos sustentáveis, corrigindo os problemas rapidamente e garantindo sua estabilidade. O nível de maturidade adaptabilidade também envolve mudanças culturais e ele atingiu a excelência quando o modelo (sombra) digital foi transformado em ações (SCHUH et al., 2020). Desta forma, foi identificado nos modelos estudados que as empresas com uma maturidade exemplar na implantação da Indústria 4.0 tem a capacidade de manter o processo sustentável, tem sustentabilidade, garantindo um processo estável, tem estabilidade. Além disso, elas têm a capacidade de conservar ou corrigir, rapidamente, o processo e garantir uma condição conservável, isto é, elas têm conservabilidade (DICIO AULETE, 2021; DICIO DICIO, 2021; DICIO MICHAELIS, 2021).

Como pode ser visualizado na figura 17, que ilustra os níveis de maturidade da Acatech (2020), todas as qualidades que nomeiam seus níveis de maturidade são identificadas em quatro pilares principais: Cultura, Recursos, Sistemas de Informação e Organização estrutural. A empresa não será excelência em tudo e tampouco há necessidade, mas existem qualidades mínimas necessárias para seguir no desenvolvimento do próximo nível de maturidade. Os níveis são uma evolução da empresa na implantação da Indústria 4.0 (SCHUH et al., 2020). A figura 20 foi elaborada nesta pesquisa para ilustrar esse desenvolvimento.

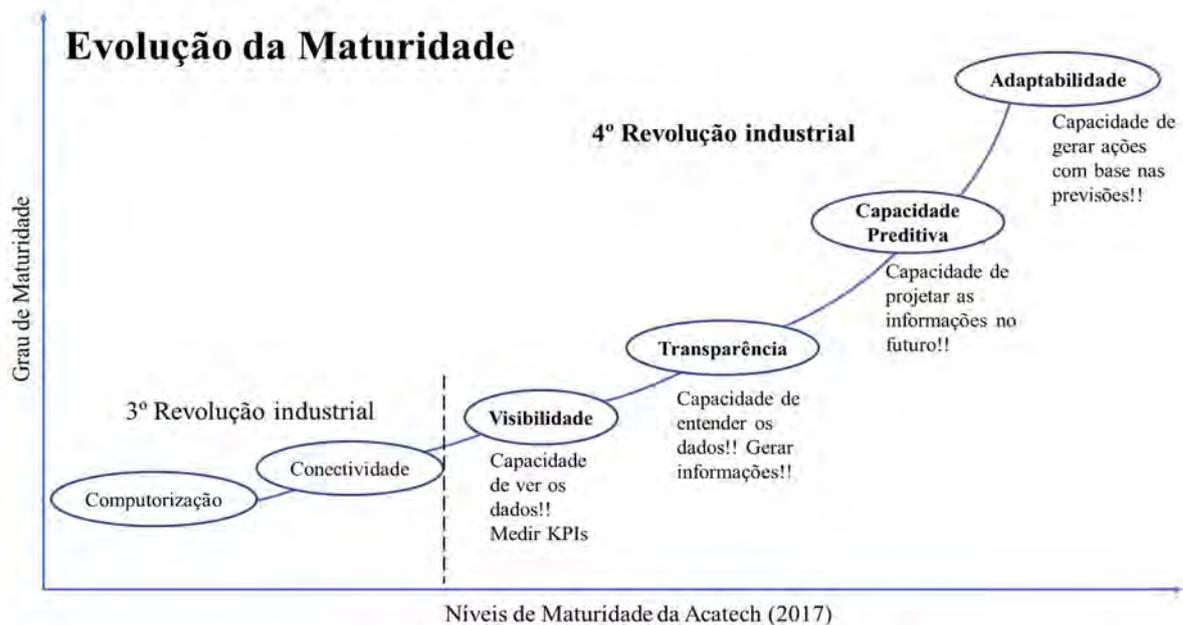


Figura 20: Evolução da maturidade no modelo de avaliação a Acatech. Fonte: Elaborado pelo autor.

Mudança e inovação são consideradas questões de gestão e geralmente são comunicadas aos colaboradores por meio de canais fixos de comunicação. Um processo de produção com otimização automatizada aumenta o nível de maturidade, pode aumentar a eficácia e eficiência geral de uma máquina, e também o cumprimento dos prazos de entrega são melhorados. Além disso, é possível trazer uma redução considerável da taxa de falhas inesperadas. Normalmente, a produtividade geral, que é definida como a relação entre as entradas e as saídas de uma empresa, tem uma melhora considerável (SCHUH et al., 2020; SCHUMACHER et al., 2016). Desta forma, a empresa precisa ter a capacidade de idealizar ações eficazes e eficientes, isto é, ter efetividade. Entretanto, não só os processos de produção são importantes, mas todos os processos são elementos chaves nas empresas e para maximizar o aproveitamento é importante que os processos sejam simplificados, para facilitar o entendimento (PORTER, 2004). Assim, a capacidade de tornar os processos simples é denominada como a simplicidade e a capacidade dos processos serem desprovidos de complicações e de serem usados facilmente é ter amigabilidade (DICIO MICHAELIS, 2021; DICIO DICIO, 2021; AULETE, 2021). As empresas precisam ter a capacidade de avaliar e conhecer seus processos (SCHUH et al., 2020), que foi denominado nessa pesquisa o termo de avaliabilidade para esse atributo.

Para Schuh et al. (2020), os avanços em imagens estão favorecendo novas maneiras de registrar dados de qualidade. Empresas com maturidade exemplar tem maior capacidade de registrar seus dados com qualidade (SCHUMACHER et al., 2016), que foi definido nesta pesquisa como registrabilidade. Entretanto, para poder ter essa característica é fundamental que a empresa tenha capacidade de ter acesso aos dados com qualidade (CAPPELLI, 2009), isto é, ter acessibilidade. A elaboração de uma sombra digital necessita, fundamentalmente, da definição dos requisitos de dados relevantes e selecionar os sensores corretos. São os sensores que possibilitam a captura dos dados de processos do começo ao fim com uma grande quantidade de valores (SCHUH et al., 2020). Devido a redução dos preços dos sensores, microchips e tecnologia de rede é possível atualmente que os eventos e condições possam ser registrados instantaneamente, e alguns em tempo real, por toda a empresa. Além dessa vantagem do mercado (preço), agora já é possível ter essa realidade em toda a empresa (SCHUH et al., 2020). Juntamente com sensores e atuadores, os sistemas embarcados também são componentes essenciais dos sistemas ciber-físicos. A camada de comunicação é ligada aos

componentes eletromecânicos (atuadores) através destes sistemas (SCHUMACHER et al., 2016).

Aumentos no poder de processamento e reduções no tamanho do transistor estão tornando possível construir unidades cada vez menores e mais baratas. A modernização da infraestrutura de TI nos últimos anos e a prestação sistemática de feedback do chão de fábrica permitiram a criação de um modelo digital, realizado no ambiente de produção em sistemas de informação da empresa. Feito com qualidade, e são sistemas que tem uma melhor capacidade de executar a geração destas informações sem erros, conceito de acurácia. Outro ponto importante é que para avaliar a qualidade dos sistemas de informações, eles devem ser capazes de ser comparados, isto é, ter comparabilidade. Desta forma, as empresas estão com maior capacidade de prover informações de qualidade (SCHUH et al., 2020) e esse atributo foi definido nesta pesquisa como ser informativa, que está mais voltada a definição dos dicionários da língua portuguesa que a definem como o que é “destinado a informar ou notificar” (DICIO MICHAELIS, 2021; DICIO DICIO, 2021).

No documento da ACATECH (2020), o cenário descrito acima demonstra o favorecimento que as empresas têm em se digitalizar com os recursos atuais (em 2020), mas eles precisam estar implementados de forma que ela tenha a capacidade de digitalizar seus dados, processos e rotinas de forma automatizada (SCHUH et al., 2020). A esta qualidade foi dado, neste estudo, a denominação de digitabilidade. Em função do uso cada dia mais difundido da tecnologia da informação e comunicação em produtos e processos, é importante que as empresas agenciem uma abordagem interdisciplinar na forma de processar, pensar e agir (SCHUH et al., 2020). Assim como os processos e departamentos precisam ser capazes de se integrar (integrabilidade), os sistemas destas empresas também precisam ter a capacidade de interagir na digitalização de dados. Essas empresas possuem o atributo da interatividade.

A evolução da área operacional [produção] envolve a interação com a implementação das melhorias em todo o processo de manufatura. Estando os projetos pilotos de melhoria operando em linhas de produção separadas, eles estão gerando resultados apenas em melhorias de processo pontuais (locais). O potencial destas melhorias poderia ser aproveitado em todas as linhas de produção se elas não fossem isoladas e fragmentadas. Desta forma, a adequada interatividade, junto a integrabilidade visam associar os projetos de melhorias individuais em um processo unificado, a fim de gerar o máximo de valor para a empresa e usar todo o potencial da Indústria 4.0 (SCHUH et al., 2020). Para possibilitar esse melhor aproveitamento, as empresas necessitam ter a capacidade de organizar elementos variados em sistemas integrados, ou um único sistema. A essa qualidade foi dada a definição de sistemabilidade. Entretanto, caso não seja possível individualizar os produtos, além de integrar sistemas e processos a um sistema de gestão digitalizado, a empresa terá dificuldade de identificar os problemas e consequentemente as causas raízes (SCHUMACHER et al., 2016), sendo então imprescindível que a empresa tenha a capacidade de diferenciar, isto é, dividir, os seus processos de formas individuais (SCHUH et al., 2020). Essa qualidade software que as empresas de conseguir se dividir em partes rastreáveis e controláveis, que é definida como divisibilidade.

As empresas que trabalham na implementação da Indústria 4.0 buscam ter estruturas de processos e sistemas interconectadas (integrabilidade, interatividade), autocontroladas (visibilidade) e inteligentes (GÖKALP, 2017). Desta forma, a empresa necessita desenvolver a capacidade de tornar os processos inteligentes, um atributo definido nesta pesquisa como inteligenciabilidade. Os modelos de negócios que se utilizam as tecnologias implícitas à Indústria 4.0 procuram desenvolver processos inovadores de valor agregado, com operações mais flexíveis, confiáveis e efetivas (GÖKALP, 2017). Com isso as empresas precisam ter a capacidade de confiar nas informações previstas, para tomar e implantar as decisões corretas, isto é, ter confiabilidade, ser confiável. No ambiente tecnológico, ser flexível está relacionado a capacidade de ser utilizado ou executado em diversas configurações e poder ser movido para

outros ambientes, isto é, ter respectivamente portabilidade e mobilidade (DICIO MICHAELS, 2021; DICIO ALUETE, 2021). O próprio desenvolvimento tecnológico oriundo da Indústria 4.0 nos últimos anos geram novas oportunidades de negócios e conseqüentemente criam deferentes modelos de negócios (GÖKALP, 2017).

Uma empresa que está organizada, bem estruturada, com departamentos interagindo e processos integrados consegue maximizar os benefícios da indústria 4.0. As empresas precisam estar capacitadas nos processos de estruturação, principalmente na estrutura de informação, recursos e cultura, sendo que o quarto pilar da maturidade 4.0 das empresas é justamente a organização (SCHUH et al., 2020). Por tal afirmação que a capacidade da empresa de organizar seus dados, informações e controles de forma adequada (definido nessa pesquisa como estruturabilidade) é fundamental. Nesta pesquisa foi conceituado também o oposto do atributo estruturabilidade, sendo este a **incapacidade** de estruturar dados de forma eficiente, definido como a desorganabilidade da empresa. Essa abordagem foi feita para exemplificar as características que algumas empresas possuem e que dificultam o atingimento de suas metas, logo estas características devem ser mitigadas (CAPPELLI, 2009).

Em um estágio inicial da implantação da indústria 4.0 as empresas estão habituadas em ter uma estrutura organizacional tradicional que está direcionada para a operação eficiente dos departamentos individuais, mas que possam realizar medições de forma admissível e compartilhar (enviar e receber) com os registros adequados (SCHUH et al., 2020). Neste contexto, para poder se avaliar, a empresa necessita ter a capacidade de levantar e medir os dados de seus processos, definido aqui como a mensurabilidade. Além disso, para que as medições sejam confiáveis, ter confiabilidade, foi identificado a necessidade de registrar (registrabilidade), de receber (receptibilidade) e transmitir os dados (transmissibilidade) de forma admissível (admissibilidade).

No estudo comparativo de Schumacher et al. (2016) são sugeridas as dimensões e respectivas qualidades que as empresas que estão em condições mais avançadas tendem a apresentar, de acordo com os modelos estudados e eles foram listados no quadro 6.

Quadro 6 (Continua): Dimensões e itens de maturidade do Modelo de Maturidade da Indústria 4.0.
Fonte: Schumacher et al. (2016).

Dimensão	Item de maturidade exemplar
Estratégia	Implementação roteiro I4.0, Recursos disponíveis para realização, Adaptação de modelos de negócios, ...
Liderança	Disposição dos líderes, competências e métodos de gestão, Existência de coordenação central para I40, ...
Clientes	Utilização de dados do cliente, Digitalização de vendas/ serviços, competência de mídia digital do Cliente ...
Produtos	<u>Individualização de produtos</u> , Digitalização de produtos, Integração de Produtos em outros sistemas, ...
Operações	Descentralização de processos, Modelagem e simulação, Interdisciplinar, colaboração interdepartamental, ...
Cultura	Compartilhamento de conhecimento, inovação aberta e colaboração entre empresas, Valor de TIC (Tecnologia da Informação e Comunicação) na empresa, ...

Quadro 6 (Continuação): Dimensões e itens de maturidade do Modelo de Maturidade da Indústria 4.0.
Fonte: Schumacher et al. (2016).

Dimensão	Item de maturidade exemplar
Pessoas	Competências de TIC dos colaboradores, abertura de funcionários para novas tecnologias, autonomia dos colaboradores, ...
Governança	Regulamentos trabalhistas para I40, Adequação dos padrões tecnológicos, Proteção da propriedade intelectual, ...
Tecnologia	Existência de TIC moderno, Utilização de dispositivos móveis, Utilização da comunicação máquina a máquina, ...

A liderança tem uma importância muito elevada na maturidade da empresa na nos processos da indústria 4.0, sendo na condução, como na participação e na credibilidade dos processos (SCHUH et al, 2020; Schumacher et al., 2016). No quadro 06, adaptado dos autores Schumacher et al (2016), a dimensão de liderança proporciona itens de maturidade exemplar como a disposição dos líderes, suas competências e métodos de gestão como atributos das empresas com maior maturidade na implantação da indústria 4.0. Esses itens são importantes para a maturidade dos colaboradores, visto que estes possuem suas bases na liderança. No contexto da indústria 4.0, com o volume de informação e dados usados para elevar a capacidade de previsão futura, os funcionários precisam ter “poderes de decisão” liberados para permitir a tomada de decisões seja rápida, da forma necessária e no momento certo (SCHUH et al., 2020).

A empoderabilidade foi definida nesta pesquisa como a capacidade de delegar poder aos funcionários e sistemas operacionais ajustados (Ciber Físicos e *Analytics*), com o objetivo de dar liberdade a tomada de decisão adequada. Sendo essa qualidade de grande importância para a maturidade da empresa na implantação da indústria 4.0 (SCHUMACHER et al, 2016; SCHUH et al., 2020).

Com base nos quatro pilares fundamentais do modelo de maturidade da Acatech: Visibilidade, Transparência, Capacidade Preditiva e Adaptabilidade (SCHUH et al., 2020), o atributo empoderabilidade foi elaborado e classificado, nesta pesquisa, como fundamental para o nível de maturidade da adaptabilidade, assim como o atributo da engajabilidade – relacionado também a liderança – que foi definido como a capacidade de comprometimento que a equipe de tem na hora de executar as atividades. Schumacher et al. (2016) ressalta, na abordagem sobre pessoas, que as empresas com elevado desenvolvimento na indústria 4.0 tem um item exemplar de maturidade na capacidade de prover autonomia dos empregados bem implantada (definido nesta pesquisa como autonobilidade). Essa qualidade está diretamente correlacionada com o conceito de empoderabilidade. A autonobilidade é facilitada quando a cultura da empresa favorece a transparência e os colaboradores têm maior capacidade de compreender fatos, informações e decisões da liderança, isto é, as pessoas possuem compressibilidade.

Outro item de maturidade exemplar ressaltado por Schumacher et al. (2016) é a colaboração interdepartamental e a descentralização dos processos, mas com a centralização dos objetivos, metas, informações e processos de controle. Essa disciplina remete a outra característica muito importante para as empresas consideradas pela ACATECH (2020) que possuem uma maturidade exemplar, que é a capacidade de utilizar os dados e informações para direcionar a empresa nas decisões mais assertivas em pouco tempo (SCHUH et al., 2020), esta qualidade de direcionar dados foi definida nesta pesquisa como a direcionabilidade e foi atribuída nesta pesquisa à Adaptabilidade. A qualidade de ser capaz de promover essa colaboração interdepartamental e alinhamento das equipes nas empresas foi classificado como um atributo da direcionabilidade definido como compartilhabilidade, que é a capacidade de

promover a colaboração entre os departamentos da empresa. A capacidade de tomar decisões em pouco tempo representa uma tendência ao crescimento, sendo aquele que é capaz de se movimentar de forma eficaz, é a capacidade de reagir rapidamente as mudanças (DICIO MICHAELS, 2021; DICIO DICIO, 2021). Como exposto por Schuh et al. (2020), para tomar decisões em pouco tempo se faz necessário que as informações, com qualidade, estejam disponíveis quando se faz necessário. Essa qualidade é definida como a disponibilidade (DICIO MICHAELS, 2021; DICIO DICIO, 2021). Assim como a capacidade de prover essas informações foi denominada nesta pesquisa como a qualidade de ser informativo.

Todos os atributos, qualidades inerentes à Indústria 4.0 identificadas na pesquisa pelos estudos descritos acima, possuem hierarquia e relações de dependências entre seus elementos e suas contribuições são correlacionadas, podendo até mesmo estar sob outras qualidades, mas foram dispostas nas qualidades que melhor se enquadram, conforme também apresentados em estudos de CAPPELLI (2009) e da CRUZ e LEAL (2014). Para elaboração do SIG essas contribuições podem ser dos tipos listados abaixo (CHUNG, 2000):

- a) BREAK - Provê contribuição negativa suficiente para que a característica superior não seja atendida;
- b) HURT - Provê contribuição negativa parcial para não atendimento da característica superior;
- c) UNKNOWN - Provê contribuição, porém não se sabe se negativa ou positiva;
- d) HELP - Provê contribuição positiva parcial para atendimento da característica superior;
- e) MAKE - Provê contribuição positiva suficiente para que a característica.

Nesta pesquisa foram utilizadas as contribuições de *help* e *hurt* para elaboração do SIG, sendo que somente uma característica foi demonstrada como *hurt*. O SIG sobre níveis de maturidade da Indústria 4.0 elaborado conforme os estudos realizados pode ser visto na Figura 15 e os detalhes descritivos e conceituais dos atributos de qualidade dispostos no SIG pode ser visto no Quadro 7 (Relação de definições do SIG de Maturidade da Indústria 4.0). As células em verde, apresentadas no Quadro 7, são características que possuem definição na lexicologia da língua portuguesa. Os outros atributos / qualidades foram definidos, ou melhor, nomeados, nesta pesquisa. Esta situação se deu ao fato de que o SIG necessita de ter uma qualidade / atributo representado por uma palavra única, para que seja possível criar sua ilustração gráfica.

SIG (Softgoal Interdependency Graph) de maturidade

- Objetivo maior
- Atributo importante
- Atributo Acatech
- Atributo importante, com DQP

NFR-Framework

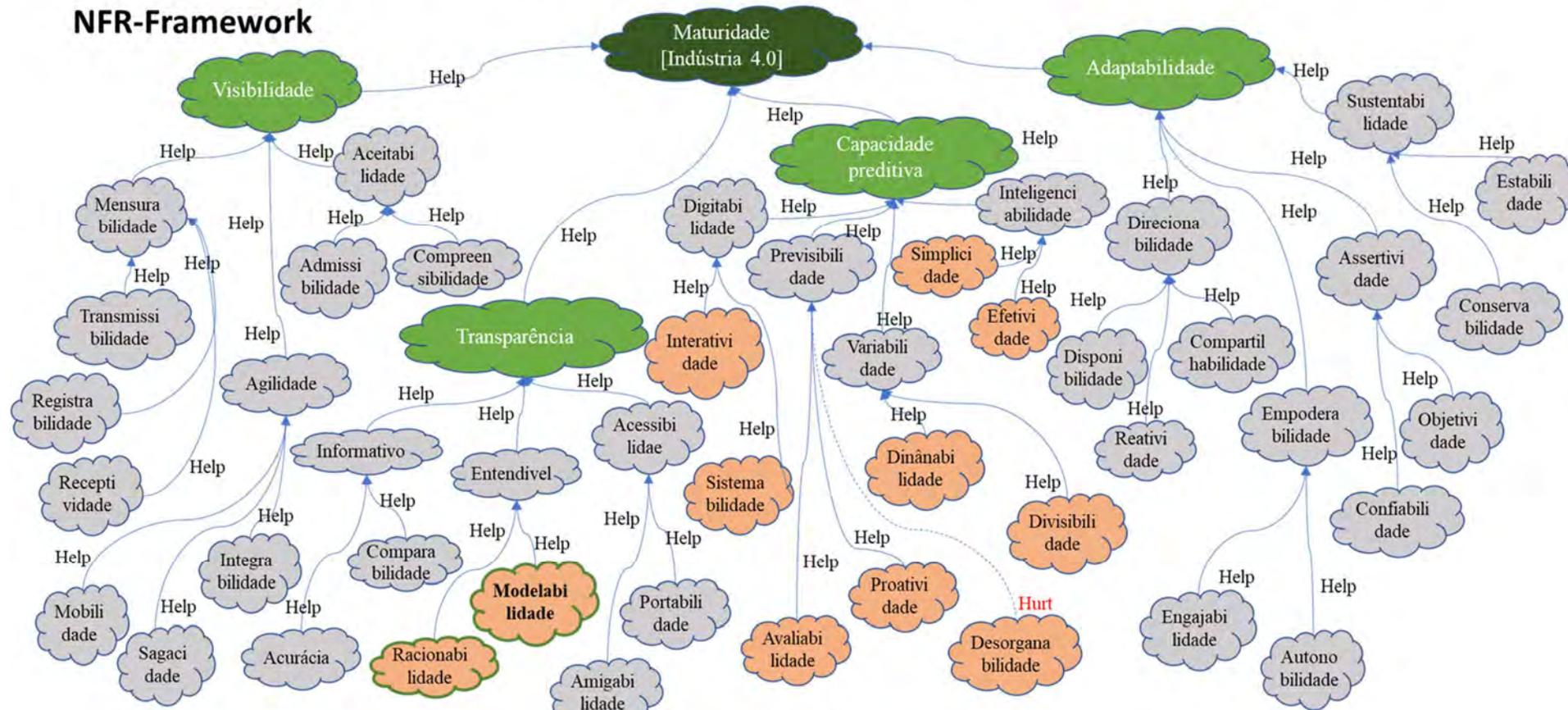


Figura 21: SIG da pesquisa. Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 7 (continua): Relação de definições do SIG de Maturidade da Indústria 4.0.

Características NFR superior	Características NFR Framework	Definição das características
Maturidade 4.0	Adaptabilidade	Capacidade de utilizar as previsões e cenários disponíveis para tomar decisões e ações (para maximizar o retorno com o uso das ToIndustry4.0)
Maturidade 4.0	Capacidade preditiva	Capacidade de utilizar as informações disponíveis para prever cenários distintos para a empresa (internamente e externamente)
Maturidade 4.0	Transparência	Capacidade de transformar as informações de maneira amigável a toda a empresa
Maturidade 4.0	Visibilidade	Capacidade de controlar, monitorar e disponibilizar informações
Adaptabilidade	Assertividade	Capacidade de passar uma declaração válida, com a postura firme perante uma afirmação (ou negação)
Adaptabilidade	Direcionabilidade	Capacidade de se direcionar com base em dados e informações, de ser direcionável
Adaptabilidade	Empoderabilidade	Capacidade de delegar poder de decisão aos colaboradores
Adaptabilidade	Sustentabilidade	Capacidade de se manter o processo sustentável
Capacidade Preditiva	Digitabilidade	Capacidade de digitalização de dados automaticamente
Capacidade preditiva	Previsibilidade	Capacidade de prever cenários futuros
Capacidade preditiva	Variabilidade	Capacidade de simular cenários diferentes, de ser variável
Capacidade preditiva	Inteligenciabilidade	Capacidade de tornar os processos inteligentes
Transparência	Acessibilidade	Capacidade de obtenção de dados
Transparência	Entendível	Capacidade de dar entendimento, que se pode entender. Que é capaz de alcançar o significado e o sentido.
Transparência	Informativo	Capacidade de prover informações de qualidade
Visibilidade	Aceitabilidade	Capacidade de aceitar (de forma natural) a visibilidade dos dados, é a condição ou caráter do que é aceitável.
Visibilidade	Agilidade	Capacidade de atuar ou trabalhar com eficiência, para permitir respostas rápidas as mudanças.
Visibilidade	Mensurabilidade	Capacidade de medir / levantar dados
Aceitabilidade	Admissibilidade	Capacidade de medir os dados de forma admissível.

Quadro 7 (continuação): Relação de definições do SIG de Maturidade da Indústria 4.0.

Características NFR superior	Características NFR Framework	Definição das características
Aceitabilidade	Compreensibilidade	Capacidade de compreensão dos fatos, informações e decisões (pelos colaboradores e pela liderança)
Agilidade	Integrabilidade	Capacidade de integrar os sistemas, de ser integrável
Agilidade	Mobilidade	Capacidade de ser móvel, de conseguir se movimentar
Agilidade	Sagacidade	Capacidade de facilmente entender o que está apenas implícito
Acessibilidade	Amigabilidade	Capacidade de uso sem esforço
Acessibilidade	Portabilidade	Capacidade de uso em diversos ambientes
Assertividade	Confiabilidade	Capacidade de confiar nas informações previstas (para tomar e implantar as decisões corretas)
Assertividade	Objetividade	Capacidade de ser objetivo. Também é a qualidade do que se dá, ou se pretende dar, a uma representação fiel de um objeto ou ideia
Digitabilidade	Interatividade	Capacidade de possibilitar a interação
Digitabilidade	Sistemabilidade	Capacidade de organizar elementos variados num sistema
Direcionabilidade	Compartilhabilidade	Capacidade de promover a colaboração entre os departamentos da empresa
Direcionabilidade	Reatividade	Capacidade de reagir rapidamente as mudanças; representa a tendência ao crescimento, sendo aquele que é capaz de se movimentar de forma eficaz.
Direcionabilidade	Disponibilidade	Capacidade de ser utilizado no momento que se fizer necessário
Empoderabilidade	Autonobilidade	Capacidade de dar autonomia (de forma confiável) aos colaboradores
Empoderabilidade	Engajabilidade	Capacidade de comprometimento que a equipe de possui.
Entendível	Modelabilidade	Capacidade de criar um modelo digital
Entendível	Racionabilidade	Capacidade de produzir conhecimento através das análises de causa raízes dos problemas
Informativo	Acurácia	Capacidade de execução sem erros, de forma sistemática
Informativo	Comparabilidade	Capacidade de poder comparar itens, dados ou quaisquer coisas entre si, de coisas serem comparáveis entre si.

Quadro 7 (continuação): Relação de definições do SIG de Maturidade da Indústria 4.0.

Características NFR superior	Características NFR Framework	Definição das características
Inteligenciabilidade	Efetividade	Capacidade de idealizar ações eficazes e eficientes
Inteligenciabilidade	Simplicidade	Capacidade de tornar os processos simples
Mensurabilidade	Registrabilidade	Capacidade de registrar dados
Mensurabilidade	Receptividade	Capacidade de receber (de forma confiável) os dados medidos / monitorados
Mensurabilidade	Transmissibilidade	Capacidade de transmitir (de forma confiável) os dados medidos / monitorados
Previsibilidade	Avaliabilidade	Capacidade de se avaliar e conhecer os próprios processos
Previsibilidade	Estruturabilidade	Capacidade de se organizar de forma a estruturar os dados de forma adequada – oposto: Desorganabilidade – Incapacidade de estruturar dados de forma eficiente
Previsibilidade	Proatividade	Capacidade de se antecipar as alterações no ambiente (interno ou externo)
Sustentabilidade	Conservabilidade	Capacidade de conservar ou corrigir o processo, dar condição daquilo que é conservável.
Sustentabilidade	Estabilidade	Capacidade de garantir um processo estável
Variabilidade	Dinâmabilidade	Capacidade de mudar de acordo com as circunstâncias e necessidades
Variabilidade	Divisibilidade	Capacidade de ser divisível (e criar o divisível)

Uma vez que as empresas sejam capazes de antecipar eventos futuros, conceito de previsibilidade, elas também devem estar preparadas para que os funcionários sejam aptos a tomarem quaisquer medidas necessárias para minimizar os potenciais impactos negativos desses eventos e maximizar os impactos positivos (SCHUH et al., 2020). Desta forma, mesmo que a empoderabilidade, a engajabilidade, que é a capacidade de conseguir comprometimento dos colaboradores, e também a compartilhabilidade estejam relacionados diretamente à Adaptabilidade, o desenvolvimento desses atributos começa na capacidade preditiva. Uma vez que o uso cada vez mais difundido da tecnologia da informação e comunicação em produtos e processos favorecem uma abordagem interdisciplinar na forma de pensar e agir de seus funcionários (SCHUH et al., 2020, pág.24). Esta característica descrita por Schuh et al. (2020) além de fortalecer os conceitos dos 3 atributos citados agora, também foi fundamento para o atributo da interatividade, que segundo o dicionário Michaelis (2020) é a qualidade de interativo, sendo adaptado nesta pesquisa como a capacidade de possibilitar a interação.

4.4.3 Etapa 4.3 Elaboração do catálogo de DQP (Diagrama de Questões-Padrão)

Os diagramas de questões-padrão [DQP] serão detalhadas neste tópico. Os diagramas são formados pelo atributo, as perguntas e no quadro seguinte estão as respostas para as perguntas.

Conforme ilustrado na figura 21, o SIG desta pesquisa, e descrito no desenvolvimento deste item na seção 4.4.2, o atributo principal é a Maturidade [da Indústria 4.0] e dele é desdobrado os demais atributos, estruturando uma hierarquia para os atributos sub-principais que foram nomeados com os níveis de maturidade da Acatech (2020) – Visibilidade, Transparência, Capacidade Preditiva e Adaptabilidade. Nesta pesquisa foi eleito o atributo da capacidade preditiva para ter o desenvolvimento dos DQPs, visto que os resultados e desenvolvimentos das empresas neste nível de maturidade, descritos por Schuh et al. (2020), deram mais suporte aos objetivos desta pesquisa. Além do fato que desenvolver todos os atributos ampliaria muito o estudo para uma pesquisa de mestrado profissional, devido a abrangência necessária. Entretanto, foi desenvolvido também os DQP para o atributo da modelabilidade, fundamental ao atributo da Transparência, pelo fato de que o modelo digital, também chamado de sombra digital, no padrão de maturidade da Acatech (2020) é de extrema importância no desenvolvimento da maturidade nas empresas. O conceito de sombra digital deve ser implantado nas empresas neste nível e ele é um elemento fundamental para o desenvolvimento das empresas na implantação da Indústria 4.0. Além do fato de que desenvolver o modelo digital é uma atividade que a Ternium Brasil necessita trabalhar muito para vencer este desafio.

No desenvolvimento do SIG, seção 4.4.2, foi mencionado que o atributo pode atender a mais de um atributo de nível superior, mas que eles foram colocados nas posições que a sua contribuição é mais relevante, fato sustentado por Cappelli (2009), da Cruz e Leal (2014), e Leal et al. (2015). Dentro dos diagramas isso também ocorreu, que uma alternativa possa ser aplicada a mais de um atributo/questão. Além de que muitas questões possuem mais de uma alternativa. Para os quadros de alternativas esta situação foi tratada de forma diferente, as alternativas foram repetidas e aparecem mais do que uma vez.

Desta forma, segue então nas figuras e quadros seguintes os DQPs e quadros de alternativas para os atributos desenvolvidos nesta pesquisa.

As referências indicadas com [#xx] estão relacionadas ao mapeamento sistemático e estão listadas no apêndice B.

4.4.3.1 Modelabilidade

Definição: Capacidade de criar um modelo digital.

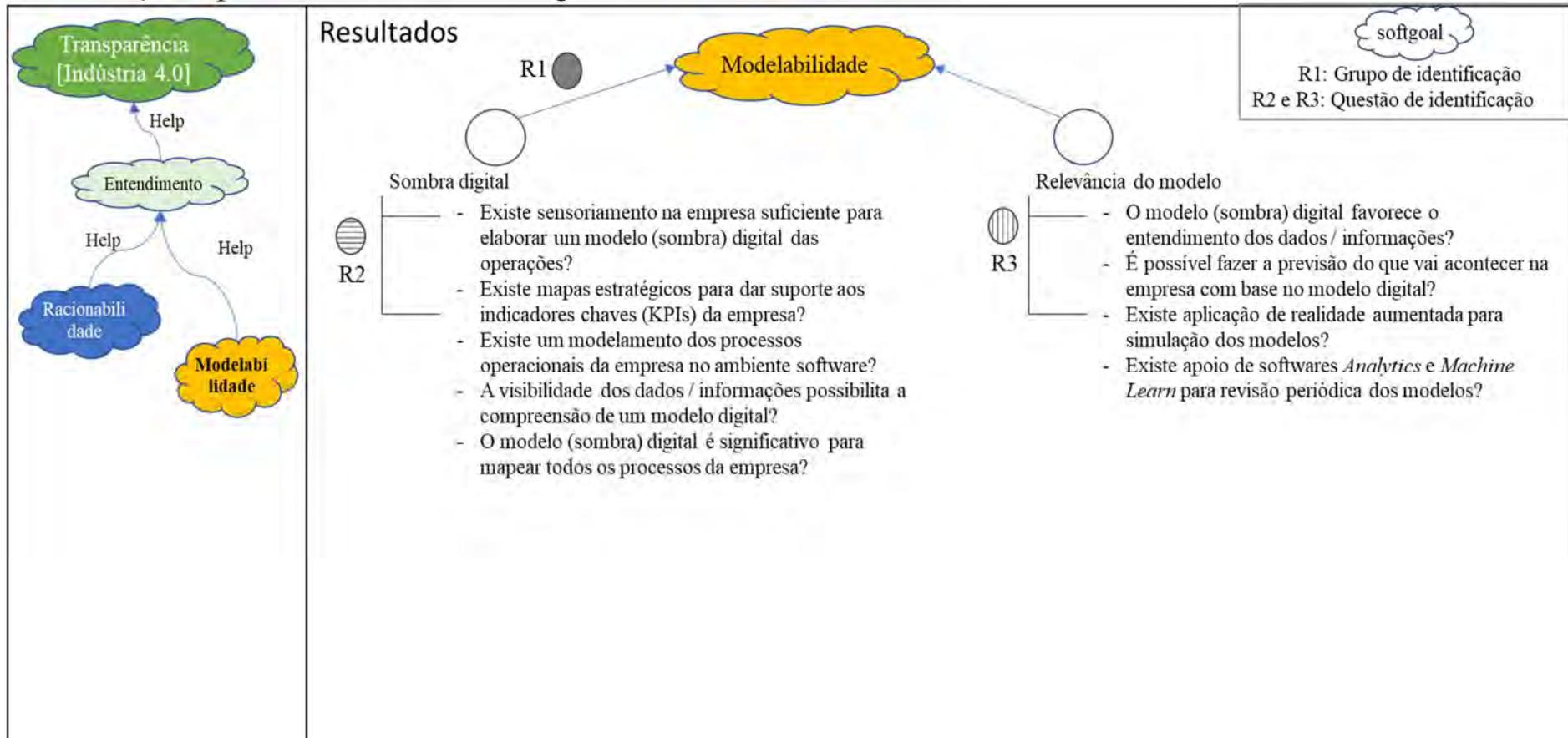


Figura 22: DQP – Diagrama de Questões Padrão – para o atributo da modelabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Alternativas

As alternativas (respostas) desenvolvidas para o atributo da modelabilidade estão abaixo.

Quadro 8 (continua): As alternativas (respostas) desenvolvidas para o atributo da modelabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR00	Pergunta	Alternativas	Referência(s)
R1	- A empresa possui informações para elaboração de um modelo digital?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Uso de Indicadores, Mapas Estratégicos e BSC – <i>Balanced Scorecard</i> (BSC). ✓ Uso de sensores, conectividade em rede e IoT. 	<ul style="list-style-type: none"> • NORTON e KAPLAN, 2019. • PORTER, 2004. • STEVAN JR, 2019. • SCHWAB, 2018.
R2.1	- Existe sensoriamento na empresa suficiente para elaborar um modelo (sombra) digital das operações?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sensores com e sem fio. ✓ Câmeras de vigilância. ✓ Atuadores e CLPs (Controlador Lógico Programável). ✓ IIoT – Internet das Coisas Industriais. ✓ IWSN – Redes Industriais de Sensores Sem Fio. 	<ul style="list-style-type: none"> • [#62] MOUELHI et al., 2019. • [#67] NIKOUKAR et al., 2018. • [#91] WITKOWSKI, 2017. • STEVAN JR, 2019.
R2.2	- Existe mapas estratégicos para dar suporte aos indicadores chaves (KPIs) da empresa?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Descrição da estratégia. ✓ Mensuração da estratégia. ✓ Gestão da estratégia 	<ul style="list-style-type: none"> • NORTON e KAPLAN, 2017b. • DEMING, 1991.
R2.3	- Existe um modelamento dos processos operacionais da empresa no ambiente software?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Integração ciber-física da manufatura. ✓ BigD Industrial. ✓ Redes industriais sem fio. 	<ul style="list-style-type: none"> • [#60] XU e HUA, 2017. • [#72] QI e TAO, 2018. • [#93] YAN et al., 2018. • [#94] YAN et al., 2017.
R2.4	- O modelo (sombra) digital é significativo para mapear todos os processos da empresa?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Uso de tecnologias de informação e comunicação com sistemas Ciber-Físicos. ✓ Simulação com dados coletados em tempo real. 	<ul style="list-style-type: none"> • SCHUH et al., 2020.

Quadro 8 (continuação): As alternativas (respostas) desenvolvidas para o atributo da modelabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR00	Pergunta	Alternativas	Referência(s)
R3.1	- O modelo (sombra) digital favorece o entendimento dos dados / informações?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Desenvolver mapas estratégicos. ✓ Implantar indicadores balanceados. ✓ Utilizar Metas e Iniciativas. 	<ul style="list-style-type: none"> • NORTON e KAPLAN, 2017a.
R3.2	- É possível fazer a previsão do que vai acontecer na empresa com base no modelo digital?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Análise automatizada de dados. ✓ Entrega de dados contextualizada. ✓ Uso de sistemas de modelos abstratos de rede sem fio e <i>middleware</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • SCHUH et al., 2020. • [#62] MOUELHI et al., 2019 (p4)
R3.3	- Existe aplicação de realidade aumentada para simulação dos modelos?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ferramentas CAD podem ser fundidas com realidade virtual ou tecnologias baseadas em realidade aumentada, fornecendo ambientes de modelagem imersivos ou ambientes de modelagem virtuais interativas. ✓ Fornecer manuais interativos. 	<ul style="list-style-type: none"> • SCHWAB, 2018. • STEVAN JR, 2019. (p162) • [#48] LHACHEMI et al., 2019.
R3.4	- Existe apoio de softwares <i>Analytics</i> e <i>Machine Learn</i> para revisão periódica dos modelos?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Utilizar em processos de excelência operacional e princípios seis (6) Sigma. ✓ Coletar de dados de diferentes departamentos e enviando para uma central de processamento de dados. 	<ul style="list-style-type: none"> • [#44] KOLYVAKIS et al., 2017. • [#100] ZHONG et al., 2017.

4.4.3.2 Simplicidade

Definição: Capacidade de tornar os processos simples

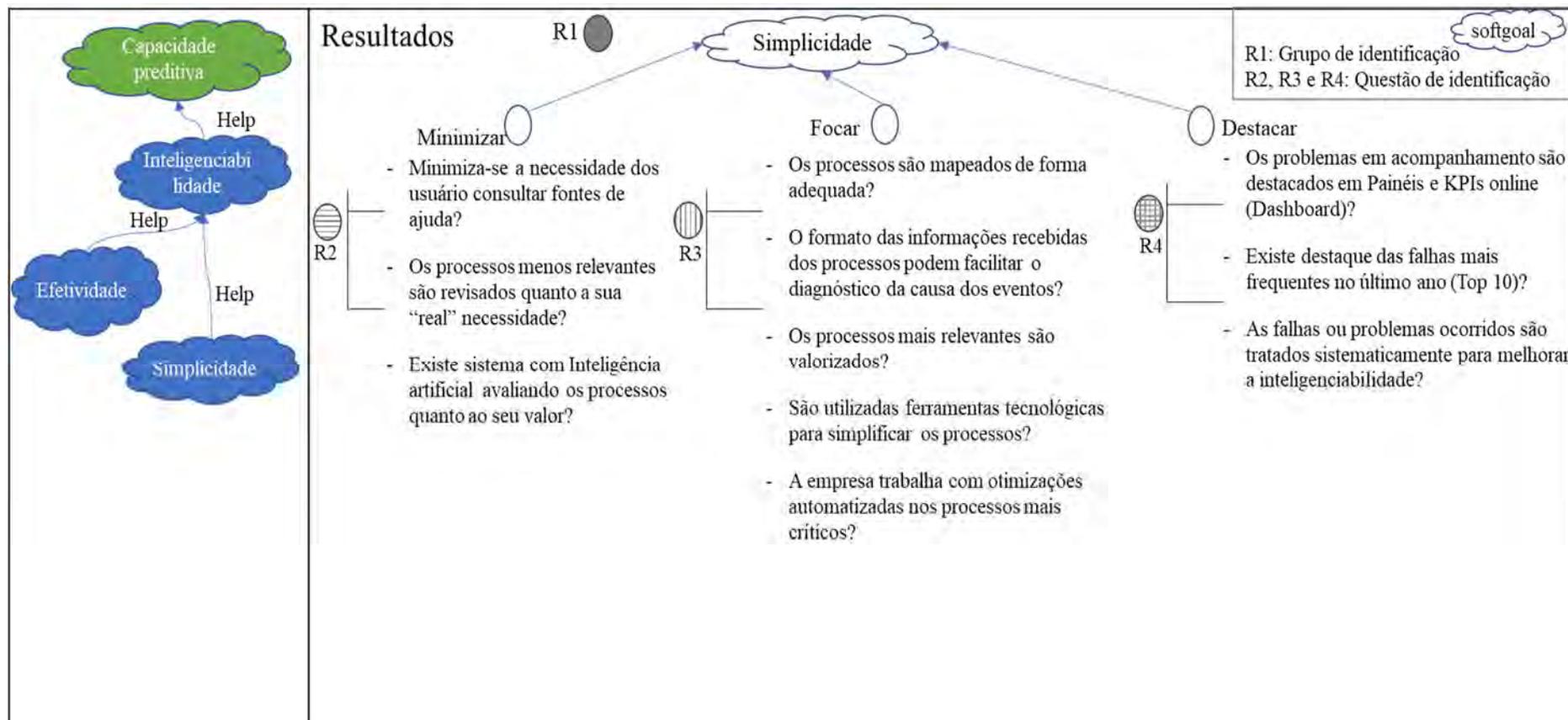


Figura 23: DQP – Diagrama de Questões Padrão – para o atributo da simplicidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Alternativas

As alternativas (respostas) desenvolvidas para o atributo da simplicidade estão abaixo.

Quadro 9 (continua): Quadro de alternativas para o atributo da Simplicidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR1	Pergunta	Alternativas	Referência(s)
R1	- Existe uma visão clara das ações / processos que precisam ser minimizados, focados ou descartados?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Focar uma estratégia competitiva formulada em relação ao meio ambiente da companhia. ✓ Uso de Mapas estratégicos – BSC. ✓ Capacitação da equipe. 	<ul style="list-style-type: none"> • PORTER, 2004. • NORTON e KAPLAN, 2019.
R2.1	- Minimiza-se a necessidade do usuário consultar fontes de ajuda?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Compartilhar ativos críticos intangíveis, pessoal, conhecimento, tecnologia e cultura. 	<ul style="list-style-type: none"> • NORTON e KAPLAN, 2017a.
R2.2	- Os processos menos relevantes são revisados quanto a sua “real” necessidade?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Valor captado pelos fornecedores; ✓ Valores captados pela empresa. ✓ Valores captados pelos clientes. ✓ Revisão periódica dos resultados. 	<ul style="list-style-type: none"> • NORTON e KAPLAN, 2017b.
R2.3	- Existe sistema com Inteligência artificial avaliando os processos quanto ao seu valor?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Integração ciber-física da manufatura. ✓ BigD Industrial. ✓ Redes industriais sem fio. 	<ul style="list-style-type: none"> • [#48] LHACHEMI et al., 2019. • SCHWAB, 2018. • STEVAN JR et al., 2019.
R3.1	- Os processos são mapeados de forma adequada?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Usar metodologia BSC para criar mapas estratégicos. ✓ Criar cadeia de valor ente os processos, utilizando uma perspectiva de aprendizado e crescimento. 	<ul style="list-style-type: none"> • NORTON e KAPLAN, 2017b.

Quadro 9 (continuação): Quadro de alternativas para o atributo da Simplicidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR1	Pergunta	Alternativas	Referência(s)
R3.2	- O formato das informações recebidas dos processos pode facilitar o diagnóstico da causa dos eventos?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Estruturar os processos e mapas de processos em diagramas, possibilitando a interação entre eles. Todos precisam identificar onde o seu trabalho está e o que impacta. ✓ Colocar os objetivos estratégicos alinhados com os dados medidos, de forma padronizada para que seja possibilitada a estatística automatizada. ✓ Criar algoritmos para prover estes objetivos a máquinas inteligentes. 	<ul style="list-style-type: none"> • DEMING, 1991. • SCHWAB, 2018.
R3.3	- Os processos mais relevantes são valorizados?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Definir os processos mais críticos para a empresa. ✓ Medir os processos – Usar KPIs. ✓ Criar ações com base nos KPIs. Só medir não melhora o processo, é necessário agir. 	<ul style="list-style-type: none"> • NORTON e KAPLAN, 2017b. • DEMING, 1982.
R3.4	- São utilizadas ferramentas tecnológicas para simplificar os processos?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Servidores na Nuvem - <i>Cloud</i> ✓ Software <i>Analytics</i>. ✓ BigD Industrial. 	<ul style="list-style-type: none"> • SCHWAB, 2018. • [#66] NIENKE et al., 2017. • [#72] QI e TAO, 2018. • [#76] SCHUH et al., 2019
R3.5	- A empresa trabalha com otimizações automatizadas nos processos mais críticos?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ IIoT – Internet das Coisas Industriais ✓ Redes industriais sem fio. ✓ Software <i>Analytics</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • SCHWAB, 2016. • [#76] SCHUH et al., 2019

Quadro 9 (continuação): Quadro de alternativas para o atributo da Simplicidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR1	Pergunta	Alternativas	Referência(s)
R4.1	- Os problemas em acompanhamento são destacados em Painéis e KPIs online (<i>Dashboard</i>)?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Implantar sistemas computacionais com ferramentas inteligentes. ✓ Utilizar softwares para cálculo de indicadores instantâneos, uso do BigD. ✓ Utilizar a Cloud para facilitar acesso de qualquer local. 	<ul style="list-style-type: none"> • SCHWAB, 2018. • STEVAN JR. Et al., 2018. • [#16] DARSENA et al., 2019. • [#77] SHAABAN et al., 2018 • [#90] WANG et al., 2017. • [#100] ZHONG et al., 2017.
R4.2	- Existe destaque das falhas mais frequentes no último ano (Top 10)?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Controlar ocorrências de falhas e mapear processos, produtos e equipamentos com maior quantidade de falhas ocorridas em um determinado período. 	<ul style="list-style-type: none"> • KARDEC e NASCIF, 2013b. • LAFRAIA e HARDWICK, 2015.
R4.3	- As falhas ou problemas ocorridos são tratados sistematicamente para melhorar a inteligenciabilidade?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Armazenar, processar e avaliar falhas e problemas com uso de softwares <i>Analytics</i>, BigD e CPS. ✓ Identificar desempenho sistematicamente. 	<ul style="list-style-type: none"> • [#60] XU e HUA, 2017 • [#72] QI e TAO, 2018 • TUMAC, 2016

4.4.3.3 Efetividade

Definição: Capacidade de idealizar ações eficazes e eficientes

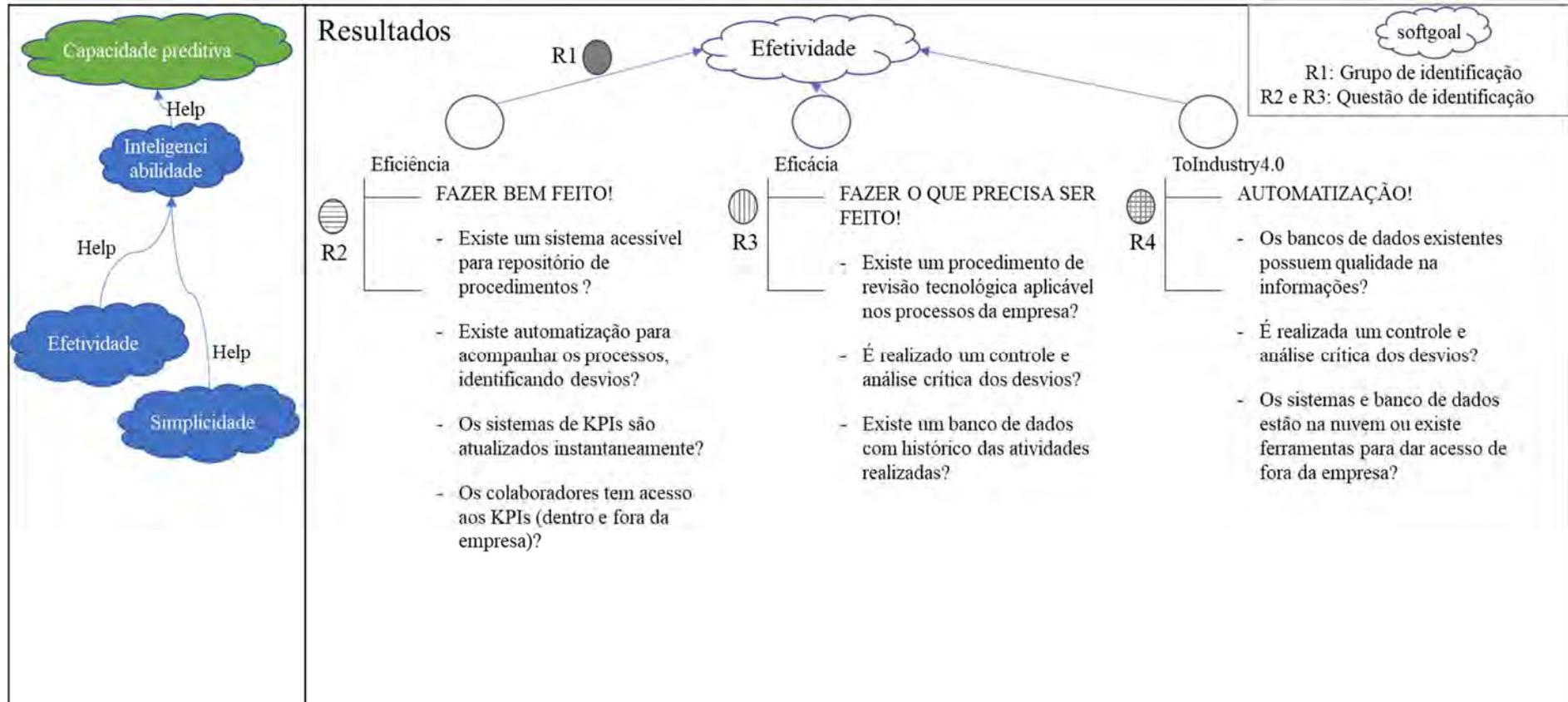


Figura 24: DQP – Diagrama de Questões Padrão – para o atributo da efetividade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Alternativas

As alternativas (respostas) desenvolvidas para o atributo da efetividade estão abaixo.

Quadro 10 (continua): Quadro de alternativas para o atributo da Efetividade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR2	Pergunta	Alternativas	Referência(s)
R1	- As ToIndustry estão implantadas na empresa?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sistemas Ciber-Físicos da manufatura. ✓ BigD Industrial. ✓ IIoT – Internet das Coisas Industriais ✓ Servidores na Nuvem - <i>Cloud</i> ✓ Redes industriais sem fio. ✓ Software <i>Analytics</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • SCHWAB, 2018. • STEVAN JR, 2019. • [#60] XU e HUA, 2017. • [#72] QI e TAO, 2018. • [#93] YAN et al., 2018. • [#94] YAN et al., 2017.
R2.1	- Existe um sistema acessível para repositório de procedimentos?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ BigD Industrial como grande banco de dados de conhecimento. ✓ Softwares <i>Analytics</i>, aplicados em servidores em Nuvem (<i>Cloud</i>) para facilitar o acesso. 	<ul style="list-style-type: none"> • [#20] DZIURZANSKI et al., 2018 • [#52] LIU et al., 2017.
R2.2	- Existe automatização para acompanhar os processos, identificando desvios?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Implantar CloudWoT - <i>Cloud Web of Things</i>. ✓ Automação e controle industrial inteligente. ✓ CPMS - Sistema de Manufatura Ciber-Físico. 	<ul style="list-style-type: none"> • [#77] SHAABAN et al., 2018. • [#97] YU et al., 2017.
R2.3	- Os sistemas de KPIs são atualizados instantaneamente?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Utilizar sistemas de gerenciamento de recursos baseado em RFID – Identificação por rádio frequência (sistemas sem fio) ✓ Aplicar sistemas de produção inteligente habilitado para IIoT. 	<ul style="list-style-type: none"> • STEVAN JR, 2019. • [#100] ZHONG et al., 2017.
R2.4	- Os colaboradores têm acesso aos KPIs (dentro e fora da empresa)?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Utilizar a <i>Cloud</i> para facilitar acesso de qualquer local. ✓ Utilizar tecnologia de acesso remoto a sistemas em rede. 	<ul style="list-style-type: none"> • [#16] DARSENA et al., 2019. • [#77] SHAABAN et al., 2018 • [#90] WANG et al., 2017. • [#100] ZHONG et al., 2017.

Quadro 10 (continuação): Quadro de alternativas para o atributo da Efetividade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR2	Pergunta	Alternativas	Referência(s)
R3.1	- É realizado um controle e análise crítica dos desvios?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aplicar metodologia de sistemas interativos: ✓ Sistemas de diagnósticos. ✓ Sistemas de controle. ✓ Digitalizar sistemas de controle: Softwares em rede e <i>Analytics</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • PORTER, 2004. (p362) • FISCHMANN, 2000.
R3.2	- Existe um banco de dados com histórico das atividades realizadas?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Utilizar BigD Industrial. ✓ Padronizar repositório de histórico. ✓ Implantar <i>Machine Learn</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • TUMAC, 2016 • [#94] YAN et al., 2017
R3.3	- Existe um procedimento de revisão tecnológica aplicável nos processos da empresa?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Valorizar inovação como uma rotina. ✓ Implantar rotina de verificação das atualizações do mercado sobre ToIndustry4.0 e demais transformações digitais atualizadas. ✓ Fazer análise de viabilidade tecno-financeiro da inovação. ✓ Prever obsolescência. 	<ul style="list-style-type: none"> • PORTER, 2004. • SCHWAB, 2016. • STEVAN JR. et al., 2018. • [#60] XU e HUA, 2017.
R4.1	- Os bancos de dados existentes possuem qualidade nas informações?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Assim como produtos fabricados precisam ter qualidade elevada, os dados e informações gerados pelas empresas precisam de qualidade para serem aproveitáveis de forma confiável. 	<ul style="list-style-type: none"> • NORTON e KAPLAN, 2017b. • PORTER, 2004.
R4.2	- Existe software para emissão de tarefas automatizados?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Utilizar softwares ERP (<i>Enterprise Resource Planning</i>) e MES (<i>Manufacturing Execution Systems</i>). 	<ul style="list-style-type: none"> • SCHUH et al., 2020 • ANTONIADIS et al., 2015.
R4.3	- Os sistemas e banco de dados estão na nuvem ou existe ferramentas para dar acesso de fora da empresa?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Utilizar a <i>Cloud</i> para facilitar acesso de qualquer local. ✓ Utilizar dispositivos portáteis digitais para acesso a sistemas em rede e coleta de dados no chão de fábrica. 	<ul style="list-style-type: none"> • [#16] DARSENA et al., 2019. • [#77] SHAABAN et al., 2018 • [#90] WANG et al., 2017. • [#100] ZHONG et al., 2017.

4.4.3.4 Divisibilidade

Definição: Capacidade de ser divisível (e criar o divisível).

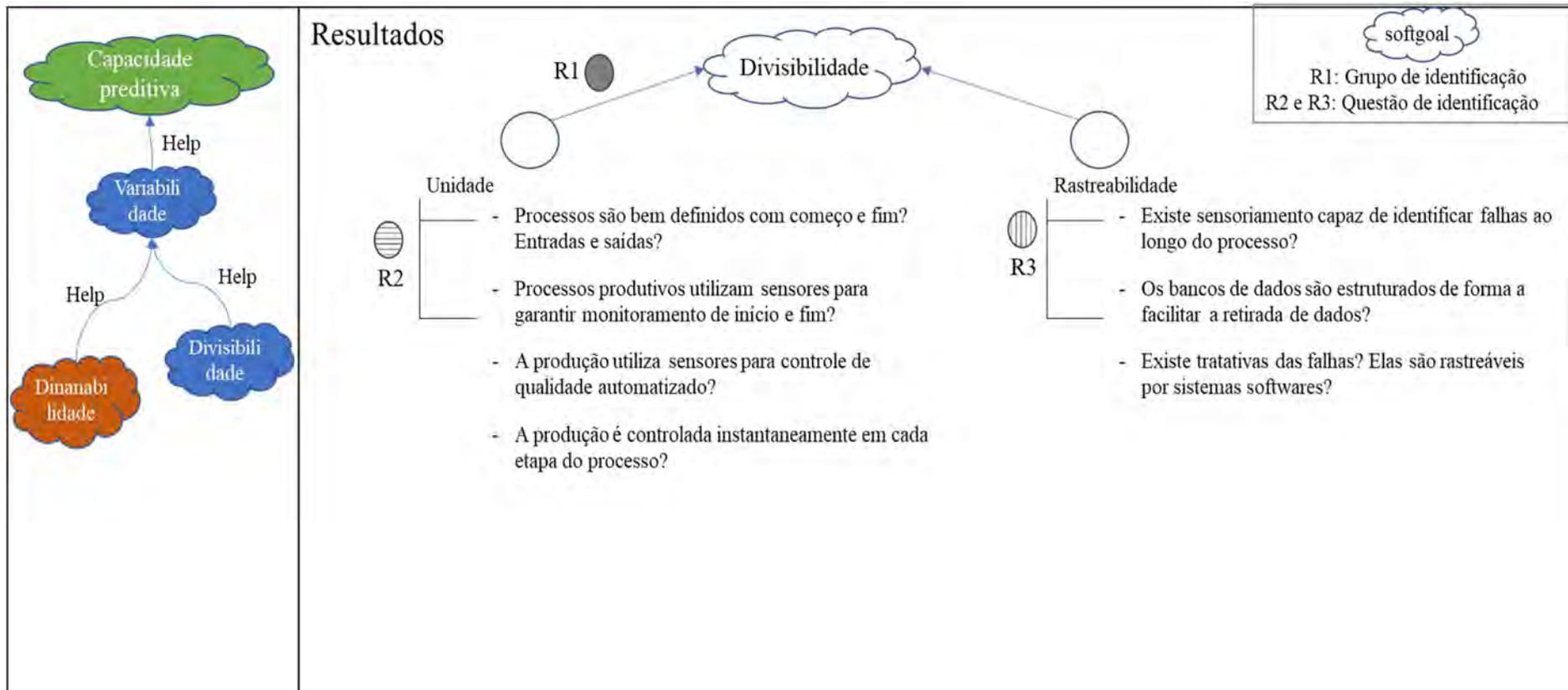


Figura 25: DQP – Diagrama de Questões Padrão – para o atributo da divisibilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Alternativas

As alternativas (respostas) desenvolvidas para o atributo da divisibilidade estão abaixo.

Quadro 11 (continua): Quadro de alternativas para o atributo da Divisibilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR3	Pergunta	Alternativas	Referência(s)
R1	- O processo está dividido em unidades rastreáveis?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Utilização das ToIndustry4.0 em processos bem estruturados. ✓ Linhas de produção: Utilizar sensoriamento, sistemas de informação em rede e IoT para identificar condições individuais do processo, localização de produto, fase de produção etc. ✓ Áreas administrativas: Utilização de Analytics e robôs para automatizar processos financeiros e rastrear todas as etapas instantaneamente. Exemplo: posição do faturamento das empresas fornecedoras. 	<ul style="list-style-type: none"> • SCHWAB, 2016. • SCHUH et al., 2020. • STEVAN JR. et al., 2018. • [#4] BADER e RAHIMIFARD, 2018.
R2.1	- Processos são bem definidos com começo e fim? Entradas e saídas?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mapear as responsabilidades dos departamentos dentro da cadeia de suprimentos: Mariz de responsabilidades. ✓ Desenvolver fluxos estruturados dos processos de operação e manutenção. ✓ Definir etapas da produção, utilizar fluxos operacionais. 	<ul style="list-style-type: none"> • NORTON e KAPLAN, 2016 • PORTER, 2004.
R2.2	- Processos produtivos utilizam sensores para garantir monitoramento de início e fim?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Definir ontologias e conjuntos de dados interoperáveis. ✓ Utilizar Modo de Operação Inteligente, buscando interoperabilidade entre o espaço físico e o espaço virtual. 	<ul style="list-style-type: none"> • [#100] ZHONG et al., 2017. • [#101] ZHOU et al., 2017.
R2.3	- A produção utiliza sensores para controle de qualidade automatizado?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Utilizar CPS integrados na <i>Cloud</i>. ✓ Sensores sem fio conectados à rede. ✓ Análise com BigD e Analytics de dados coletados do processo. 	<ul style="list-style-type: none"> • SHU et al., 2017. • [#94] YAN et al., 2017. • [#100] ZHONG et al., 2017.

Quadro 11 (continuação): Quadro de alternativas para o atributo da Divisibilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR3	Pergunta	Alternativas	Referência(s)
R2.4	- A produção é controlada instantaneamente em cada etapa do processo?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Produção ideal usando dados capturados instantaneamente. ✓ Sensores monitoram a condição operacional dos equipamentos em tempo real. 	<ul style="list-style-type: none"> • [#100] ZHONG et al., 2017.
R3.1	- Existe sensoriamento capaz de identificar falhas ao longo do processo?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Implantação de ToIndustry4.0. ✓ Utilizar sensoriamento com ou sem cabo, conectados em rede. ✓ Controlar variáveis do processo. ✓ Monitorar KPIs dos processos. 	<ul style="list-style-type: none"> • [#8] CALI e ÇAKIR, 2019. • [#81] TAO e ZHANG, 2017. • [#88] WAN et al., 2018.
R3.2	- Os bancos de dados são estruturados de forma a facilitar a retirada de dados?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Padronizar entrada de dados para poder realizar tratamentos estatísticos. ✓ Utilizar MSPM – Monitoramento Estatístico Multivariado de Processo. 	<ul style="list-style-type: none"> • [#79] SUN e HAO, 2017.
R3.3	- Existe tratativas das falhas? Elas são rastreáveis por sistemas softwares?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aplicar comunicação eficaz. ✓ Utilizar manutenção preditiva. ✓ Aplicar <i>Machine Learn</i>, sistemas de tomada de decisão inteligente. 	<ul style="list-style-type: none"> • QIN et al., 2016. • [#40] JENDERNY et al., 2018.

4.4.3.5 Dinâmabilidade

Definição: Capacidade de mudar de acordo com as circunstâncias e necessidades.

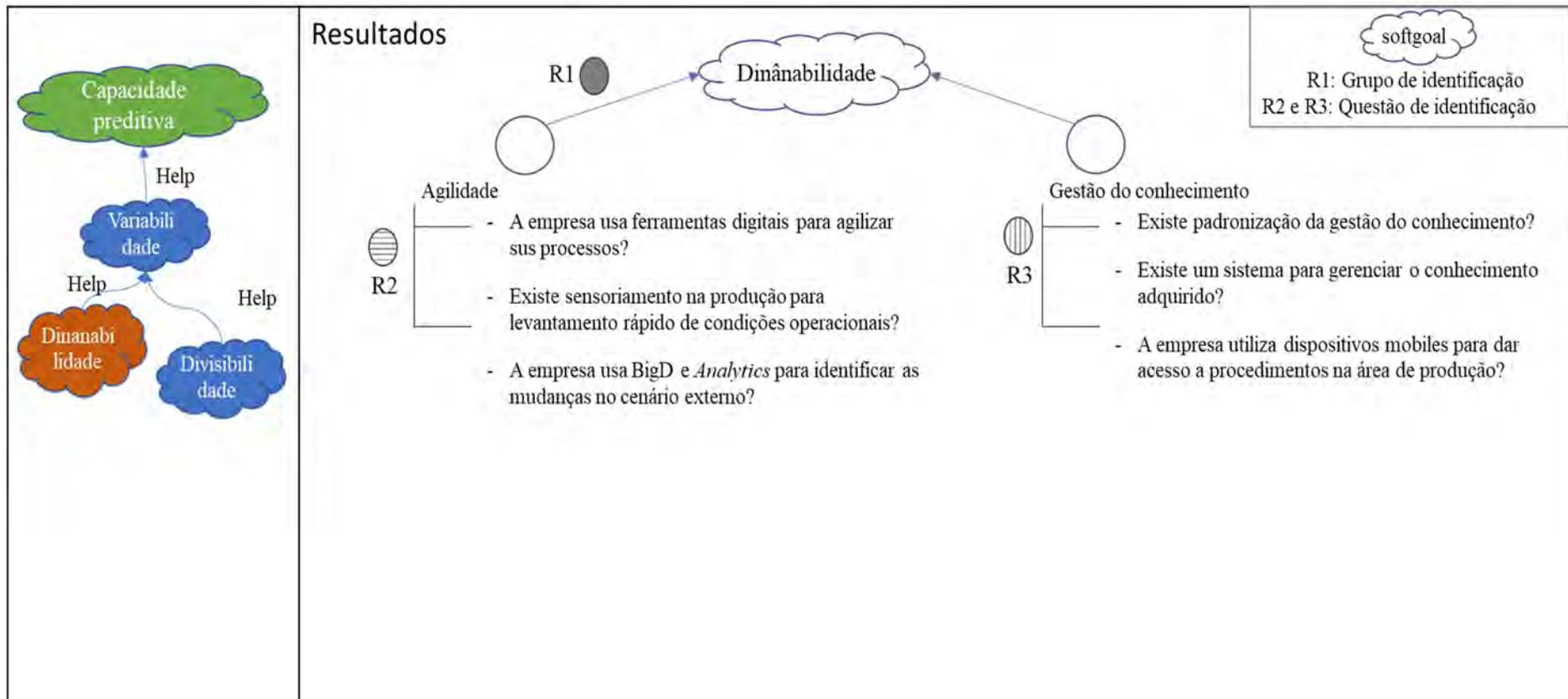


Figura 26: DQP – Diagrama de Questões Padrão – para o atributo da dinâmabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Alternativas

As alternativas (respostas) desenvolvidas para o atributo da dinâmabilidade estão abaixo.

Quadro 12 (continua): Quadro de alternativas para o atributo da Dinâmabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR4	Pergunta	Alternativas	Referência(s)
R1	- A estrutura de informação e disposição do conhecimento está favorecendo a empresa a ser mais ágil?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Utilizar repositório de dados em BigD e utilizar softwares Analytics para favorecer a prática de políticas inovadoras, com melhoria contínua dos processos. 	<ul style="list-style-type: none"> • SCHWAB, 2018. (p232) • SCHUH et al., 2020.
R2.1	- A empresa usa ferramentas digitais para agilizar sus processos?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Criar modelo digital utilizando a tecnologia de BigD, Inteligência Artificial e a conectividade. ✓ Servidores na Nuvem - <i>Cloud</i> ✓ Redes industriais sem fio. ✓ Software <i>Analytics</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • SCHUH et al., 2020. • [#72] QI e TAO, 2018. • [#81] TAO e ZHANG, 2017. • [#93] YAN et al., 2018. • [#94] YAN et al., 2017.
R2.2	- Existe sensoriamento na produção para levantamento rápido de condições operacionais?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sensores com ou sem cabeamento. ✓ IIoT, conectividade em redes industriais. ✓ Aplicar métodos de otimização existentes com uso das ToIndustry4.0. 	<ul style="list-style-type: none"> • SCHWAB, 2016. • STEVAN JR. et al., 2018. • [#62] MOUELHI et al., 2019. • [#67] NIKOUKAR et al., 2018. • [#90] WANG et al., 2017.
R2.3	- A empresa usa BigD e Analytics para identificar as mudanças no cenário externo?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Coletar informações críticas de concorrente, clientes e toda a cadeia de valor do negócio. ✓ Utilizar algoritmos de aprendizado e inteligência artificial avançados. ✓ Aplicar análises em BigD com uso de softwares Analytics. 	<ul style="list-style-type: none"> • PORTER, 2004. • SCHWAB, 2018. • SCHUH et al., 2020. • [#88] WAN et al., 2018.

Quadro 12 (continuação): Quadro de alternativas para o atributo da Dinâmabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR4	Pergunta	Alternativas	Referência(s)
R3.1	- Existe padronização da gestão do conhecimento?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Elaborar manuais de casos práticos. ✓ Finalizar implantação de projetos com avaliação de pontos fortes e a melhorar, lições aprendidas. 	<ul style="list-style-type: none"> • STEVAN JR. et al., 2018.
R3.2	- Existe um sistema para gerenciar o conhecimento adquirido?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aplicar sistemas digitais <i>Deep Learn</i>. ✓ Utilizar conectividade em rede para disponibilizar acesso a procedimentos, instruções e manuais de qualquer local. ✓ Utilizar CCPM – <i>Critical chain project management</i> – Gerenciamento de projetos de cadeia crítica, sendo repositório de lições aprendidas. 	<ul style="list-style-type: none"> • SCHUMACHER et al., 2016. • SCHWAB, 2016. • STEVAN JR. et al., 2018.
R3.3	- A empresa utiliza dispositivos mobiles para dar acesso a procedimentos na área de produção?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Utilizar a <i>Cloud</i> para facilitar acesso de qualquer local. ✓ Utilizar dispositivos portáteis digitais para acesso a sistemas em rede e coleta de dados no chão de fábrica. 	<ul style="list-style-type: none"> • [#16] DARSENA et al., 2019. • [#77] SHAABAN et al., 2018 • [#90] WANG et al., 2017. • [#100] ZHONG et al., 2017.

4.4.3.6 Avaliabilidade

Definição: Capacidade de se avaliar e conhecer os próprios processos.

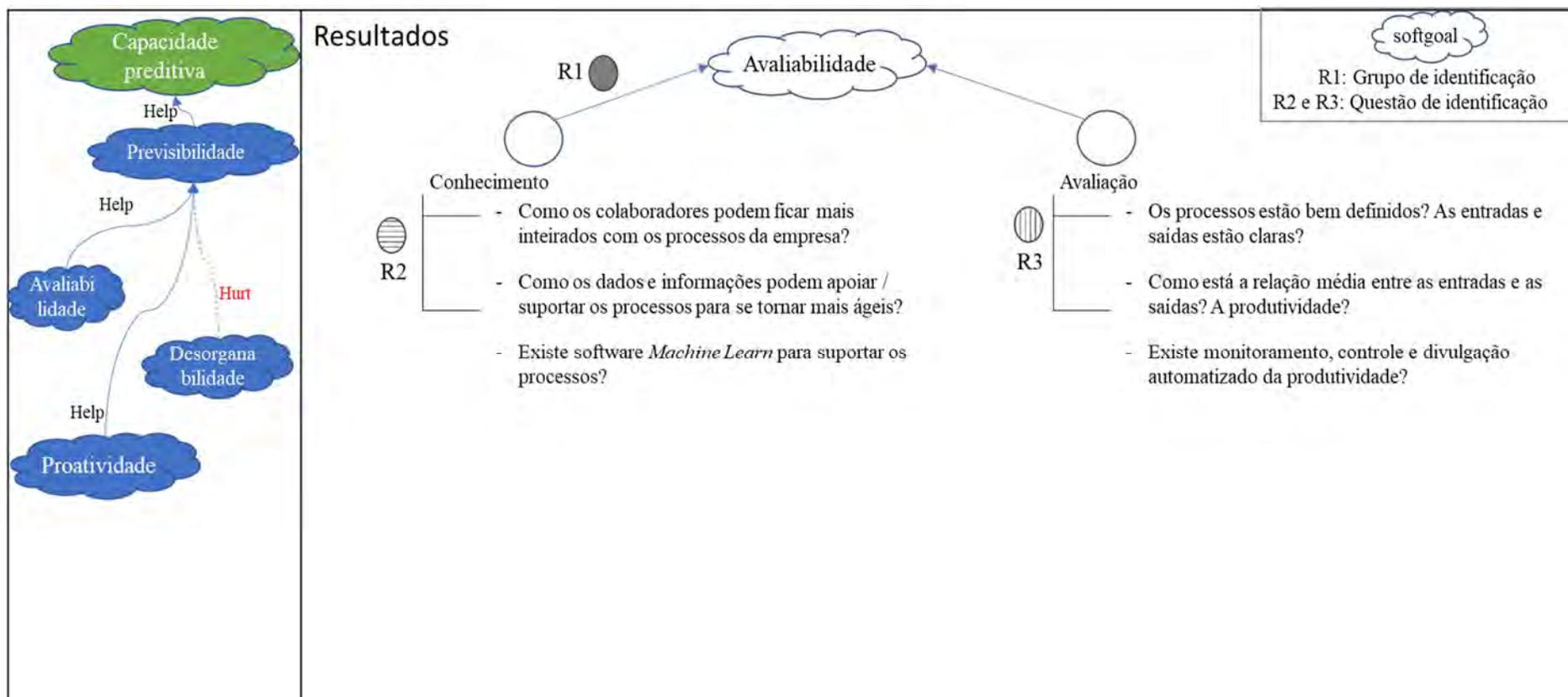


Figura 27: DQP – Diagrama de Questões Padrão – para o atributo da Avaliabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Alternativas

As alternativas (respostas) desenvolvidas para o atributo da Avaliabilidade estão abaixo.

Quadro 13 (continua): Quadro de alternativas para o atributo da avaliabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR5	Pergunta	Alternativas	Referência(s)
R1	- Como a tecnologia pode ajudar a avaliar os melhores cenários conhecidos?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Avaliar cenários com <i>Analytics</i> ✓ Interconectar objetos comuns e industriais com IoT. 	<ul style="list-style-type: none"> • [#23] ELOMARI et al., 2018. • [#52] LIU et al., 2017. • [#67] NIKOUKAR et al., 2018
R2.1	- Como os colaboradores podem ficar mais inteirados com os processos da empresa?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Utilizar mapas estratégicos, BSC. ✓ Implantar estratégia empresarial com Integração vertical e horizontal. 	<ul style="list-style-type: none"> • NORTON e KAPLAN, 2017b. • SCHWAB, 2016. • STEVAN JR., 2018 (p92)
R2.2	- Como os dados e informações podem apoiar / suportar os processos para se tornar mais ágeis?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Disponibilizar dados e análise instantaneamente ou em tempo real. ✓ Utilizar KPIs medidos instantaneamente. 	<ul style="list-style-type: none"> • SCHWAB, 2016. • STEVAN JR., 2018
R2.3	- Existe software <i>Machine Learn</i> para suportar os processos?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Realizar operações autônomas com o mínimo de intervenção humana. ✓ Mitigar os riscos de segurança. 	<ul style="list-style-type: none"> • [#67] NIKOUKAR et al., 2018 • [#77] SHAABAN et al., 2018.

Quadro 13 (continua): Quadro de alternativas para o atributo da avaliabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR5	Pergunta	Alternativas	Referência(s)
R3.1	- Os processos estão bem definidos? As entradas e saídas estão claras?	Processos são atividades, funções ou reações, cíclicas que proporcionam transformações, onde se tem sempre entradas e saídas. É importante na empresa que exista um mapeamento das delimitações de cada processo e suas contribuições para o produto final.	<ul style="list-style-type: none"> • DEMING, 1991. • NORTON e KAPLAN, 2017a. • PORTER, 2004.
R3.2	- Como está a relação média entre as entradas e as saídas? A produtividade?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Buscar encontrar a relação ideal de entradas e saídas. ✓ Estabelecer KPIs, monitoramento e controle da produtividade. ✓ Desenvolver capacidade de idealizar ações eficazes e eficientes a partir deste acompanhamento. 	<ul style="list-style-type: none"> • NORTON e KAPLAN, 2017b. • SCHUH et al., 2020. • SCHUMACHER et al., 2016
R3.3	- Existe monitoramento, controle e divulgação automatizado da produtividade?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Implantar sistemas de planejamento e controle inteligentes. ✓ Utilizar circuito fechado ciber-físico. 	<ul style="list-style-type: none"> • [#100] ZHONG et al., 2017. • [#72] QI e TAO, 2018.

4.4.3.7 Proatividade

Definição: Capacidade de se antecipar as alterações no ambiente (interno ou externo)

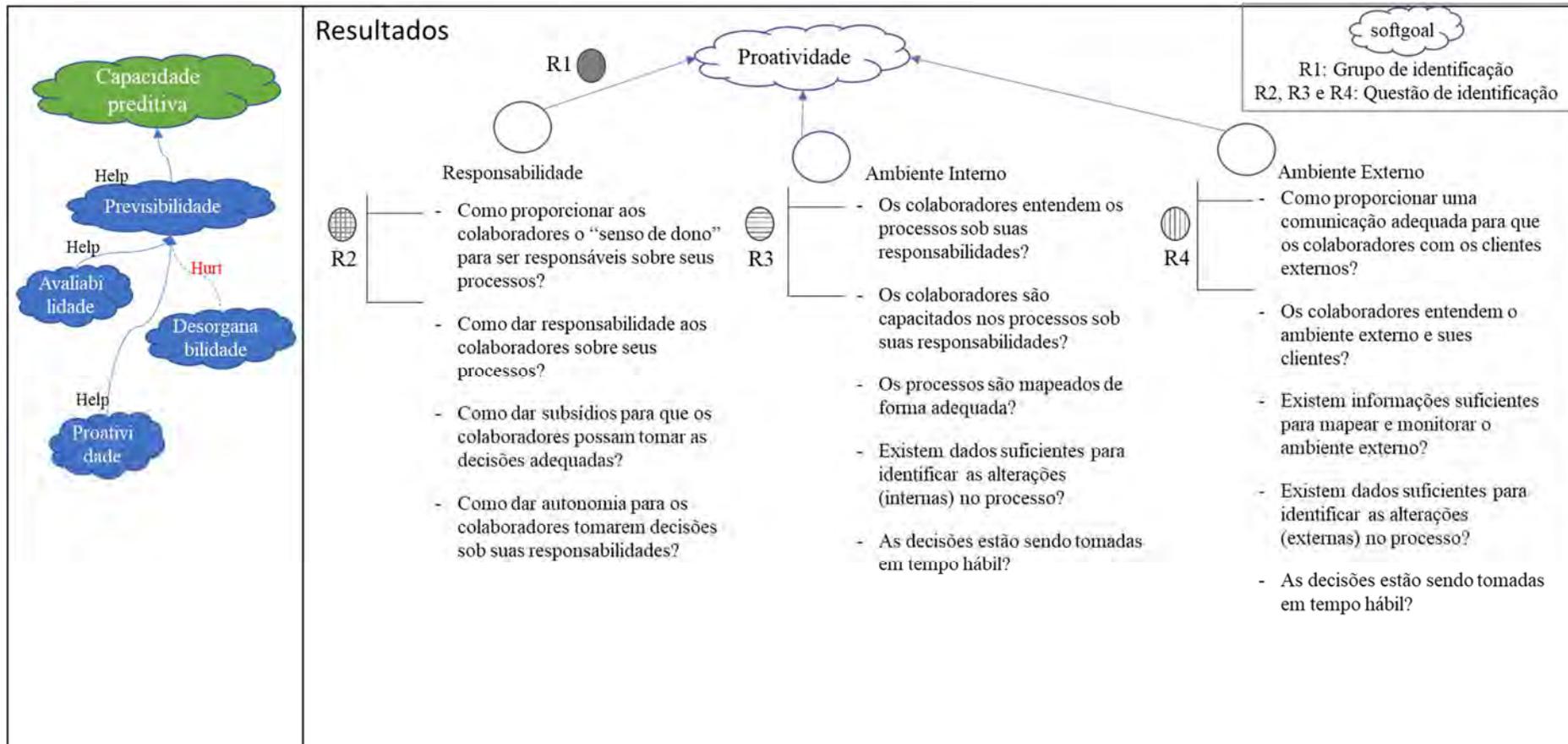


Figura 28: DQP – Diagrama de Questões Padrão – para o atributo da Proatividade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Alternativas

As alternativas (respostas) desenvolvidas para o atributo da Proatividade estão abaixo.

Quadro 14 (continua): Quadro de alternativas para o atributo da Proatividade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR6	Pergunta	Alternativas	Referência(s)
R1	- Como atingir a capacidade de se antecipar as alterações no ambiente (interno ou externo)?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aumentando a responsabilidade dos colaboradores sob os processos que estão envolvidos. ✓ Trabalhando as fraquezas e forças no ambiente interno. ✓ Trabalhando as oportunidades e ameaças do ambiente externo. 	<ul style="list-style-type: none"> • PORTER, 2004. • KAPLAN e NORTON, 2019.
R2.1	- Como proporcionar aos colaboradores o “senso de dono” para ser responsáveis sobre seus processos?	Conforme estudo da Acatech para index de maturidade, isso é um valor que precisa ser trabalhado na Cultura da empresa, com uma liderança comprometida focando em seus colaboradores do chão de fábrica.	<ul style="list-style-type: none"> • SCHUH et al. et al., 2020.
R2.2	- Como dar responsabilidade aos colaboradores sobre seus processos?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Delegar responsabilidades. ✓ Implantar indicadores de desempenho para monitorar o desenvolvimento. 	<ul style="list-style-type: none"> • SCHUH et al., 2020. • KAPLAN e NORTON, 2019.
R2.3	- Como dar subsídios para que os colaboradores possam tomar as decisões adequadas?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Estabelecer as prioridades e suas repercussões de forma implícita e explícita. ✓ Utilizar banco de dados com histórico das ocorrências passadas e suas soluções. 	<ul style="list-style-type: none"> • SCHWAB, 2018. • • [#39] ILLA e PADHI, 2018.
R2.4	- Como dar autonomia para os colaboradores tomarem decisões sob suas responsabilidades?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fragmentar a estrutura do processo decisório para expor sua arquitetura de valor. ✓ Iniciando uma correlação de histórico com acompanhamento das condições atuais. ✓ Promover melhorias no sistema técnico (processos) social (pessoas) e a interação homem-máquina. ✓ Controlar os riscos para decisões errôneas. 	<ul style="list-style-type: none"> • SCHWAB, 2018. • [#94] YAN, 2017. • KAPLAN e NORTON, 2019. • [#55] MANDA e DHAOU, 2019.

Quadro 14 (continua): Quadro de alternativas para o atributo da Proatividade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR6	Pergunta	Alternativas	Referência(s)
R3.1	- Os colaboradores entendem os processos sob suas responsabilidades?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Os colaboradores precisam entender os processos e isso deve ser providenciado desde o processo seletivo e com treinamentos em casos de promoções internas. 	<ul style="list-style-type: none"> • KAPLAN e NORTON, 2019. • [#55] MANDA e DHAOU, 2019.
R3.2	- Os colaboradores são capacitados nos processos sob suas responsabilidades?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Uso de treinamentos digitais para suportar as deficiências. ✓ Programa de capacitação com reciclagem periódica. ✓ Uso de aplicativos que suportam os colaboradores no dia a dia. 	<ul style="list-style-type: none"> • SCHWAB, 2016. • SCHWAB, 2018. • [#55] MANDA e DHAOU, 2019. • SEPMAN, 2020 (uso do aplicativo Alexa no ambiente de produção)
R3.3	- Os processos são mapeados de forma adequada?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Devem ser mapeados, tendo acesso facilitado com uso de plataformas online (intranet). 	<ul style="list-style-type: none"> • SCHWAB, 2018. • [#76]SCHUH et al., 2019.
R3.4	- Existem dados suficientes para identificar as alterações (internas) no processo?	<p>Uso de:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Softwares <i>Analytics</i> e <i>machine learning</i>. ✓ <i>Big Data</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • SCHWAB, 2018. • ILLA e PADHI, 2018.
R3.5	- As decisões estão sendo tomadas em tempo hábil?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Dados são monitorados em tempo suficiente para processamento e envio das informações. ✓ Controles são atualizados de forma automática e autônoma pelo sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> • SCHWAB, 2018. • ILLA e PADHI, 2018. • STEVAN JR et al., 2018.

Quadro 14 (continua): Quadro de alternativas para o atributo da Proatividade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR6	Pergunta	Alternativas	Referência(s)
R4.1	- Como proporcionar uma comunicação adequada para que os colaboradores com os clientes externos?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Canal de interatividade em tempo real. ✓ Plataformas sistematizadas de atendimento autônomo na internet. 	<ul style="list-style-type: none"> • ILLA e PADHI, 2018. • STEVAN JR et al., 2018.
R4.2	- Os colaboradores entendem o ambiente externo e seus clientes?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Uso de treinamentos digitais para suportar as deficiências. ✓ Programa de capacitação com reciclagem periódica. ✓ Uso de aplicativos que suportam os colaboradores no dia a dia. Ex.: Alexa (Android) 	<ul style="list-style-type: none"> • ILLA e PADHI, 2018. • STEVAN JR et al., 2018. • SCHWAB, 2018. • SEPMAN, 2020 (uso do aplicativo Alexa no ambiente de produção).
R4.3	- Existem informações suficientes para mapear e monitorar o ambiente externo?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mapeamento dos problemas dos concorrentes. ✓ Pesquisa de satisfação dos clientes. ✓ Tecnologia robótica para administração da cadeia de suprimentos. ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> • DEMING, 1986. • PORTER, 2004. • [#91] WITKOWSKI, 2017.
R4.4	- Existem dados suficientes para identificar as alterações (externas) no processo?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Softwares <i>Analytics</i> e <i>Machine Learning</i>. ✓ Utilização de Big Data. 	<ul style="list-style-type: none"> • ILLA e PADHI, 2018. • STEVAN JR et al., 2018. • SCHWAB, 2018. • [#84] TJAHJONO et al., 2017
R4.5	- As decisões estão sendo tomadas em tempo hábil?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ As decisões sobre como trabalhar o ambiente externo devem ter o mesmo suporte para os internos, mas os sensores são menos aplicáveis e utiliza-se BigD processado na <i>Cloud</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • ILLA e PADHI, 2018. • STEVAN JR et al., 2018. • SCHWAB, 2018.

4.4.3.8 Desorganabilidade

Definição: Incapacidade de estruturar dados de forma eficiente.

Este atributo é o oposto de Estruturabilidade, que é a capacidade de se organizar de forma a estruturar os dados de forma adequada.

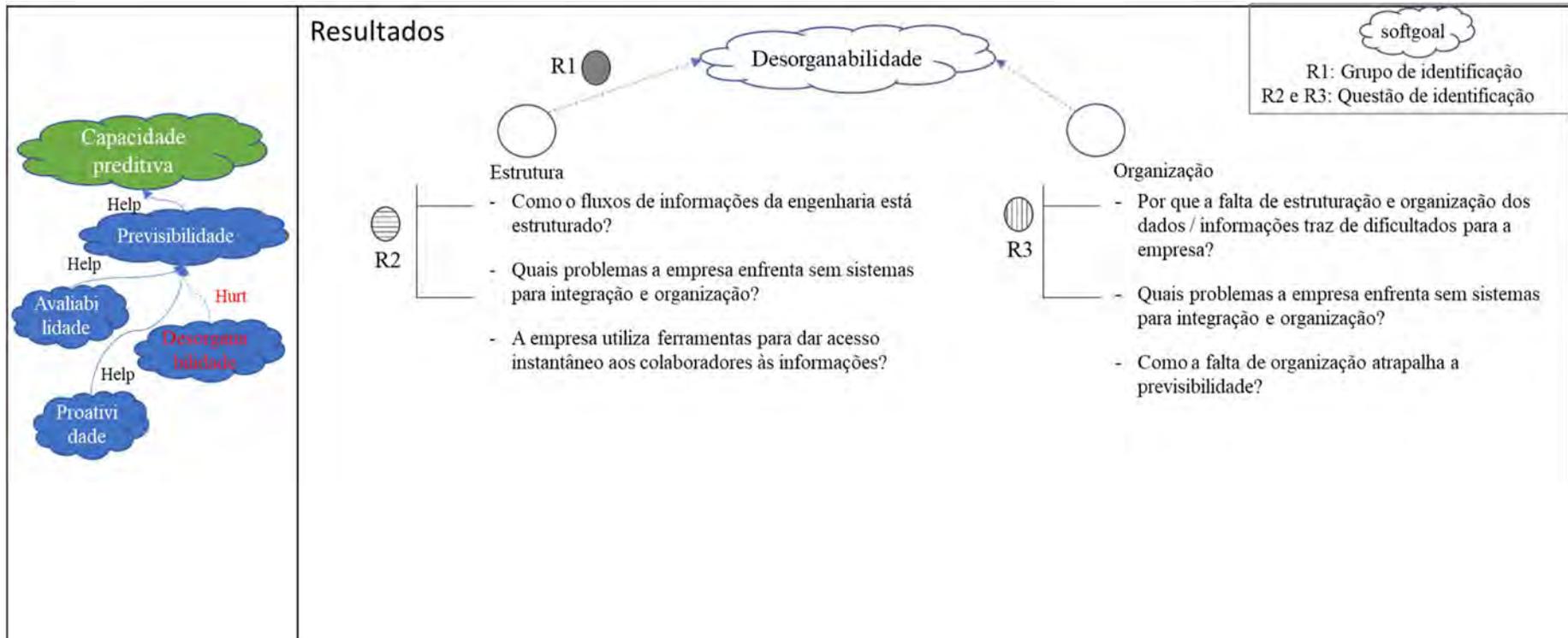


Figura 29: DQP – Diagrama de Questões Padrão – para o atributo da Desorganabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Alternativas

As alternativas (respostas) desenvolvidas para o atributo da desorganabilidade estão abaixo.

Quadro 15 (continua): Quadro de alternativas para o atributo da desorganabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR7	Pergunta	Alternativas	Referência(s)
R1	- As informações estão organizadas e os processos estão estruturados?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Para estabelecer um processo de gerenciamento estratégico da empresa, todos os processos precisam ter uma estrutura organizada, entendível e mensurável. ✓ Os bancos de dados [e BigD] devem estar organizados para favorecerem busca de informações e usar KPIs. ✓ Para chegar a uma Empresa Inteligente [<i>SMART</i>] de alta maturidade, a produção precisa ser <i>smart</i>, a logística precisa ser <i>smart</i>, a manutenção e todos os setores precisam ser <i>smart</i>. Além de existir interação entre estes departamentos. 	<ul style="list-style-type: none"> • NORTON e KAPLAN, 2019 • [#9] DELOITTE, 2015.
R2.1	- Como os fluxos de informações da engenharia está estruturado?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ A engenharia de novos projetos necessita estar alinhada com todas os departamentos da empresa, os conceitos de novos projetos devem ser elaborados com interação da área cliente, mantenedora, suprimentos e outras. A engenharia deve ter interação desde a gestão até o chão de fábrica. 	<ul style="list-style-type: none"> • STEVAN JR et al., 2018
R2.2	- Há softwares suportando a estruturação do fluxo de informações?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Utilizar sistemas integrados. ✓ Utilizar metodologia de Engenharia de Sistemas Baseado em Modelos. ✓ Softwares de simulação, gestão de documentação e desenhos integrados a sistemas da manutenção e produção. 	<ul style="list-style-type: none"> • SCHWAB, 2018. • STEVAN JR et al., 2018 • [#100] ZHONG et al., 2017.
R2.3	- A empresa utiliza ferramentas para dar acesso instantâneo aos colaboradores às informações?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Utilizar a <i>Cloud</i> para facilitar acesso de qualquer local. ✓ Utilizar tecnologia de acesso remoto a sistemas em rede. 	<ul style="list-style-type: none"> • [#16] DARSENA et al., 2019. • [#77] SHAABAN et al., 2018 • [#90] WANG et al., 2017. • [#100] ZHONG et al., 2017.

Quadro 15 (continuação): Quadro de alternativas para o atributo da desorganabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR7	Pergunta	Alternativas	Referência(s)
R3.1	- Por que a falta de estruturação e organização dos dados / informações traz de dificultados para a empresa?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sem organização, a estratégia fica somente no âmbito da alta gestão. ✓ Atividades descentralizadas e desalinhadas com as estratégias da empresa causam aumento dos custos operacionais. ✓ Sem um nível de estruturação e organização não se aplica a Indústria 4.0. 	<ul style="list-style-type: none"> • NORTON e KAPLAN, 2017a. • PORTER, 2004.
R3.2	- Quais problemas a empresa enfrenta sem sistemas para integração e organização?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sistemas descentralizados, transformando os departamentos em ilhas isoladas na organização. ✓ Sistemas desorganizados não possibilitam a aplicação de <i>Analytics, Machine Learn e Deep Learn</i>. ✓ Integração e organização são pré-requisitos para os primeiros níveis de maturidade da implantação da Indústria 4.0. 	<ul style="list-style-type: none"> • SCHUH et al., 2019. • SCHUH et al., 2020. • SCHWAB, 2016.
R3.3	- Como a falta de organização atrapalha a previsibilidade?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ A capacidade preditiva é impossibilitada sem dados medidos com qualidade e organização. ✓ Sem organização e informações estruturadas não se elabora o modelo digital, o que torna impossível realizar simulações futuras. 	<ul style="list-style-type: none"> • SCHUH et al., 2019. • SCHUH et al., 2020.

4.4.3.9 Interatividade

Definição: Capacidade de possibilitar a interação.

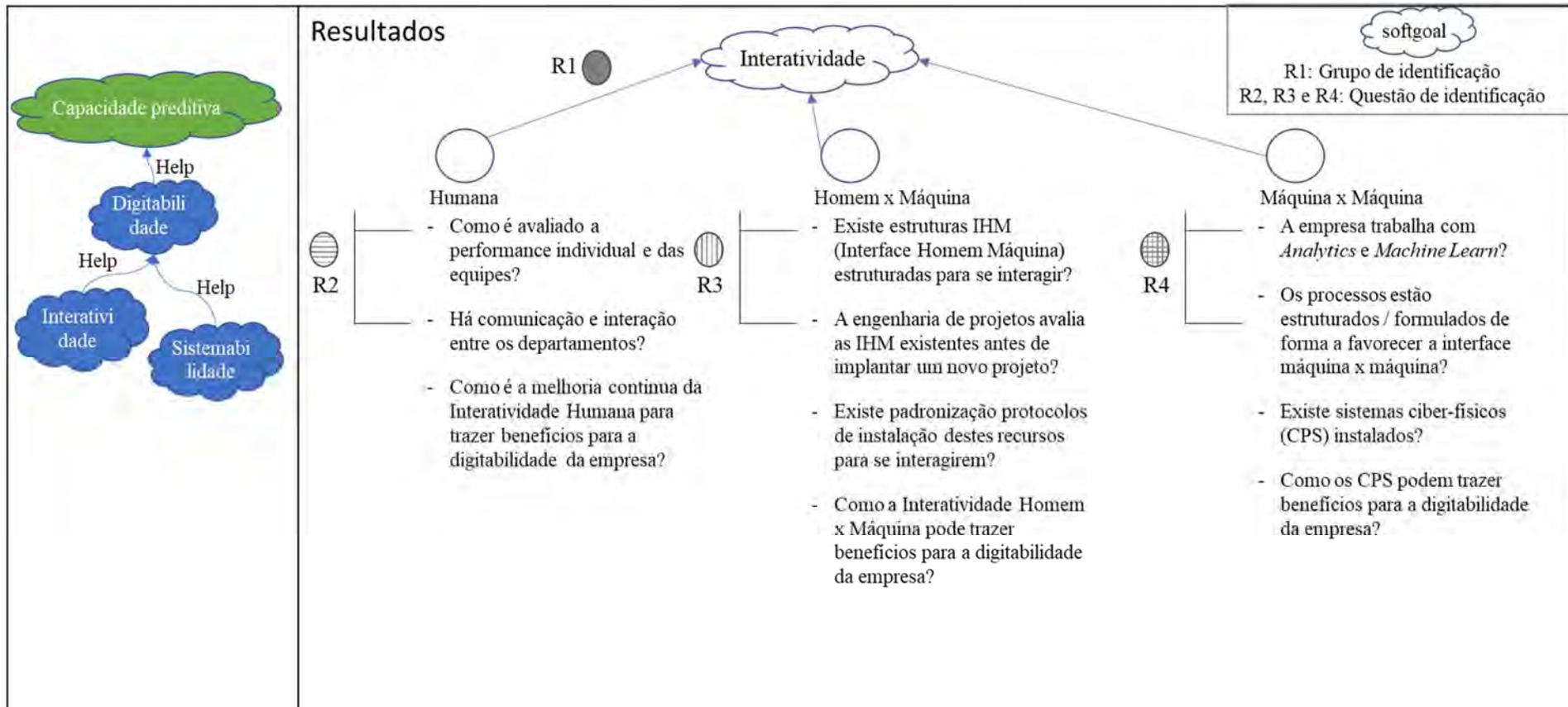


Figura 30: DQP – Diagrama de Questões Padrão – para o atributo da Interatividade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Alternativas

As alternativas (respostas) desenvolvidas para o atributo da interatividade estão abaixo.

Quadro 16 (continua): Quadro de alternativas para o atributo da interatividade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR8	Pergunta	Alternativas	Referência(s)
R1	- Existe uma interação estruturada na empresa?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Motivar a interação / integração vertical e horizontal. ✓ Elaborar ferramentas de comunicação entre departamentos. ✓ Avaliar trabalho / resultados em equipes. 	<ul style="list-style-type: none"> • PORTER, 2004. • NORTON e KAPLAN, 2017a. • NORTON e KAPLAN, 2017b.
R2.1	- Como é avaliado a performance individual e das equipes?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Utilizar processos de gestão do desempenho. ✓ Definir metas de desempenho individual, por departamento e por gerencias. ✓ Definir processos de incentivos e recompensas. 	<ul style="list-style-type: none"> • NORTON e KAPLAN, 2017a.
R2.2	- Há sistemas digitais de comunicação e interação entre os departamentos?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Usar comunicação em rede utilizando a <i>Cloud</i>. ✓ Implantar softwares de comunicação instantânea e intranet. ✓ Usar ferramentas IoT, conectividade da alta gestão até o chão de fábrica. ✓ Estabelecer compartilhamento de recursos. 	<ul style="list-style-type: none"> • [#3] ASCHENBRENNER et al., 2016.
R2.3	- Como é a melhoria contínua da Interatividade Humana para trazer benefícios para a digitabilidade da empresa?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Adoção da Gestão 4.0: <ul style="list-style-type: none"> ○ Trabalhar com máquinas inteligentes. ○ Desenvolver cultura de funcionários inteligentes, focados em inovação tecnológica. ○ Incentivar a capacidade de apreender. ✓ Favorecer compartilhamento de recursos e da colaboração entre os processos com uso da MIoT - <i>Manufacturing Internet of Things</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • STEVAN JR. Et al., 2018. • [#52] LIU et al., 2017.

Quadro 16 (continuação): Quadro de alternativas para o atributo da interatividade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR8	Pergunta	Alternativas	Referência(s)
R3.1	- Existe estruturas IHM (Interface Homem Máquina) estruturadas para se interagir?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Implantar sistemas de planejamento e controle inteligentes. ✓ Utilizar circuito fechado ciber-físico. ✓ Interação instantânea com o processo através IHM em estações e dispositivos de controle. 	<ul style="list-style-type: none"> • [#100] ZHONG et al., 2017. • [#72] QI e TAO, 2018. • STEVAN JR. et al., 2018.
R3.2	- A engenharia de projetos avalia as IHM existentes antes de implantar um novo projeto?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Controlar tecnologias existentes. ✓ Interagir com sistema de gestão. ✓ Consultar / Considerar alinhamento vertical. 	<ul style="list-style-type: none"> • STEVAN JR. et al., 2018.
R3.3	- Existe padronização protocolos de instalação destes recursos para se interagirem?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Utilizar padrões FMI – <i>Funcional Mockup Interface</i>. ✓ Simulações computacionais. ✓ Buscar padronizar tecnologias, conforme viabilidade, favorecendo a manutenibilidade dos equipamentos, hardwares e softwares. 	<ul style="list-style-type: none"> • STEVAN JR. et al., 2018.
R3.4	- Como a Interatividade Homem x Máquina pode trazer benefícios para a digitabilidade da empresa?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tomar decisões assertivas com base em IA – inteligência artificial. ✓ Automatizar / Robotizar processos administrativos bem estruturados. ✓ Protótipos realizados automaticamente com tecnologia 3D.. 	<ul style="list-style-type: none"> • STEVAN JR. et al., 2018. • [#100] ZHONG et al., 2017.

Quadro 16 (continuação): Quadro de alternativas para o atributo da interatividade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR8	Pergunta	Alternativas	Referência(s)
R4.1	- A empresa trabalha com Analytics e Machine Learn?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Identificar padrões de comportamentos ocultos. ✓ Correlacionar sistemas. ✓ Identificar clientes potenciais e preferenciais. 	<ul style="list-style-type: none"> • [#71] PERES et al., 2019. • [#100] ZHONG et al., 2017
R4.2	- Os processos estão estruturados / formulados de forma a favorecer a interface máquina x máquina?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Instalar de sensores sem fio de baixa potência; ✓ Utilizar Redes Industriais de Sensores Sem Fio (IWSNs); ✓ Utilizar Internet das Coisas Industrial (IIoT) 	<ul style="list-style-type: none"> • [#67] NIKOUKAR et al., 2018
R4.3	- Existe sistemas ciber-físicos (CPS) instalados?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Usar Loop de Feedback Sistêmico. ✓ Computadores em rede monitoram e controlam os processos físicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • [#22] ELMOAQET et al, 2018. • [#91] WITKOWSKI, 2017.
R4.4	- Como os CPS podem trazer benefícios para a digitabilidade da empresa?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Implantar a interação Ciber-Física da Manufatura. ✓ Criar fábricas inteligentes. ✓ Criar processos autônomos. 	<ul style="list-style-type: none"> • [#60] XU e HUA, 2017. • [#72] QI e TAO, 2018. • [#93] YAN et al., 2018. • [#94] YAN et al., 2017.

4.4.3.10 Sistemabilidade

Definição: Capacidade de organizar elementos variados num sistema.

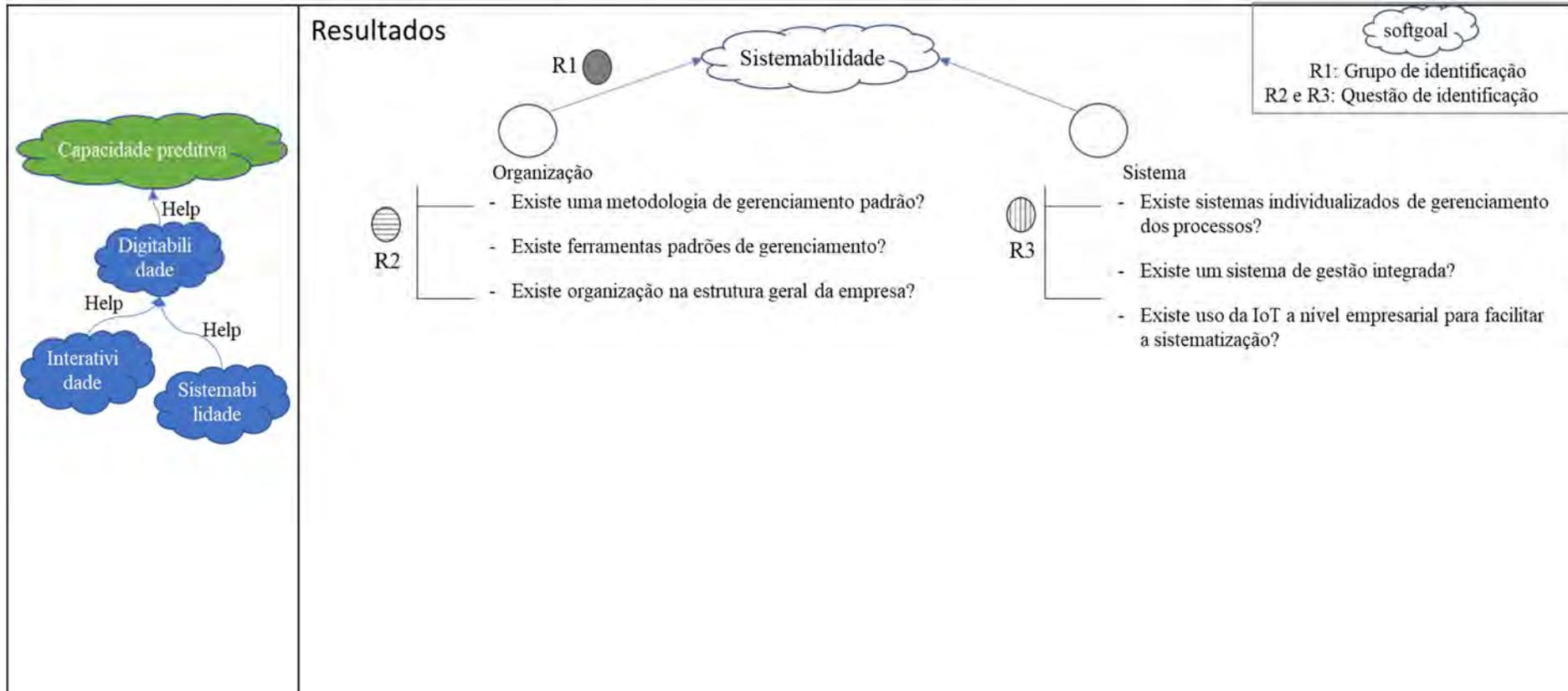


Figura 31: DQP – Diagrama de Questões Padrão – para o atributo da Sistemabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Alternativas

As alternativas (respostas) desenvolvidas para o atributo da sistemabilidade estão abaixo.

Quadro 17 (continua): Quadro de alternativas para o atributo da Sistemabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR9	Pergunta	Alternativas	Referência(s)
R1	- A gestão da empresa é suportada por uma TI organizada e alinhada da gestão estratégica da empresa?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Todos os departamentos necessitam estar alinhados ao planejamento estratégico da empresa, principalmente a TI, no cenário da Indústria 4.0. ✓ Todos os recursos e ferramentas da Indústria 4.0 estão trabalhando no ambiente da Tecnologia da Informação das empresas, logo a organização e suporte de TI é fundamental na implantação da Indústria 4.0. 	<ul style="list-style-type: none"> • NORTON e KAPLAN, 2017a. • PORTER, 2004. • SCHUH et al., 2020. • SCHWAB, 2016.
R2.1	- Existe uma metodologia de gerenciamento implantada?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Estabelecer método de desenvolvimento da estratégia ✓ Aplicar um sistema gerencial da estratégia. ✓ Utilizar métodos de controle e monitoramento de performance. 	<ul style="list-style-type: none"> • NORTON e KAPLAN, 2017b. • PORTER, 2004.
R2.2	- Existe ferramentas padrões digitais de gerenciamento?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Digitalizar metodologia de gerenciamento implantada. ✓ Utilizar tecnologia de BigD, Inteligência Artificial e a conectividade. ✓ Implantar servidores na Nuvem - Cloud ✓ Utilizar redes industriais sem fio. ✓ Aplicar software Analytics. 	<ul style="list-style-type: none"> • SCHUH et al., 2020. • [#72] QI e TAO, 2018. • [#81] TAO e ZHANG, 2017. • [#93] YAN et al., 2018. • [#94] YAN et al., 2017.
R2.3	- Existe organização estrutural hierárquica e departamental na empresa?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Todos sabem seu papel, sua contribuição para o sucesso da estratégia da empresa. 	<ul style="list-style-type: none"> • NORTON e KAPLAN, 2019. • PORTER, 2004.

Quadro 17 (continuação): Quadro de alternativas para o atributo da Sistemabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR9	Pergunta	Alternativas	Referência(s)
R3.1	- Existe sistemas individualizados de gerenciamento dos processos?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ A digitalização dos processos é um passo inicial na implantação da Indústria 4.0. As empresas já trabalham com software de gerenciamento de processos específicos desde a 3ª revolução. Para iniciar um processo de implantação da Indústria 4.0 a empresa necessita estar no mínimo com um ambiente de computadorização e conectividade. 	<ul style="list-style-type: none"> • SCHUH et al., 2020
R3.2	- Existe um sistema de gestão integrada?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Utilizar sistemas de manufatura integrados. ✓ Implantar conectividade / interatividade entre os softwares de gerenciamento específico. ✓ Integrar os processos. 	<ul style="list-style-type: none"> • SCHWAB, 2018. • STEVAN JR. et al., 2018.
R3.3	- Existe uso da IoT a nível empresarial para facilitar a sistematização?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ IIoT – Internet das Coisas Industriais ✓ Redes industriais sem fio. ✓ Software Analytics. 	<ul style="list-style-type: none"> • SCHWAB, 2016. • [#76] SCHUH et al., 2019

Depois de concluído todas as análises e descrito as alternativas de todos os atributos, o atributo de capacidade preditiva foi desdobrado para todas as qualidades definidas/indicadas com base nessa pesquisa. Assim como já descrito para os atributos, reforçado por Cappelli (2009), que a mesma qualidade [atributo] pode ser indicado atribuído a mais de uma qualidade, a alternativa [resposta] de uma questão padrão pode ser aplicada a mais de uma questão, visto que a mesma solução tecnológica pode ajudar na solução de mais de um problema.

O artefato será detalhado no próximo tópico desta pesquisa.

4.4.4 Etapa 4.4 Definição do artefato

A metodologia DSR se desenvolve com a concepção de um artefato. A sequência de ações desta pesquisa para a elaboração deste artefato está detalhada no 4.4 – Proposição do design, mas foi ilustrada na figura 32, de forma a esclarecer de maneira visual a utilização da metodologia DSR para chegar até o DQP/Quadro de alternativas, com uso do GQO. Esse padrão desenvolvido é o artefato final desta pesquisa.



Figura 32: Ilustração visual da metodologia aplicada na pesquisa.

A figura 15 desta pesquisa ilustra também todo o desenvolvimento desta pesquisa de forma metodológica. A pesquisa foi desenvolvida no método Design Science, mas teve uma influência também da metodologia MASP – Método de Análise e Soluções de Problemas – que utiliza o ciclo PDCA. Nosso caminho começou com os dados levantados no mapeamento sistemático, estudados na análise de conteúdo, atribuindo o estudo de maturidade de empresa que estão implantando a Indústria 4.0. Com essas informações utilizamos a metodologia GQO para desenvolver o SIG principal da pesquisa, foi focado o atributo de capacidade preditiva, para desenvolver as DQPs e quadro de alternativas.

Desta forma, o artefato consiste no desdobramento estruturado de atributos de forma ramificada, conforme ilustração na figura 21, desdobrado nos diagramas DQPs, juntamente com as respectivas respostas, que estão no quadro de alternativas.

Na metodologia DSR o artefato desenvolvido necessita ser testados para ter validação. Na próxima e última etapa desta pesquisa, esse procedimento foi desenvolvido.

4.5 Etapa 5 – Avaliação do artefato

O pesquisador possui acesso as informações da Ternium Brasil, uma empresa de grande porte do setor siderúrgico, por ser funcionário dela, e durante sua rotina teve uma ideia de oportunidade de melhoria nos resultados da empresa, se as ToIndustry4.0 direcionassem todas as informações geradas por todos os setores para um departamento, que seria responsável por correlacionar todos eles e identificar novas informações úteis para a gestão de ativos e o mapeamento estratégico da empresa. Este departamento foi idealizado como o ponto focal para a integração vertical e horizontal da empresa. Com o consentimento da Ternium Brasil, o artefato proposto nesta pesquisa será testado com os dados dela nesta etapa de validação.

4.5.1 A Ternium

A Ternium é a maior indústria siderúrgica da América Latina, que tem a capacidade produtiva de aproximadamente 12 milhões de toneladas de aço por ano. A empresa possui 17 centros de produção na Argentina, Brasil, Colômbia, Estados Unidos, Guatemala e México, para a fabricação de produtos siderúrgicos de alta complexidade, que abastecem as principais indústrias e mercados globais.

A Ternium possui plantas instaladas de diversas idades, isto é, existem plantas com mais de sessenta [60] anos de existência até o Brasil, sua planta mais nova, com apenas dez [10] anos de operação. Desta forma, a empresa procura igualar tecnologicamente suas plantas, tendo um objetivo de ser uma indústria de manufatura do ramo siderúrgico com implantação dos conceitos de Indústria 4.0.

A Ternium procura ter um sistema de produção eficiente e totalmente integrado, visto que suas instalações contam com todo o processo fabril da siderurgia, desde a extração do minério de ferro até a produção de produtos de alto valor agregado para as indústrias mais exigentes. A política da empresa é procurar criar valor junto com os clientes e fornecedores, melhorando a competitividade e a produtividade conjunta, por meio de uma base industrial e tecnológica de alta eficiência e de uma rede comercial global.

Em 2017, a Ternium adquiriu o complexo industrial siderúrgico de TK CSA Santa Cruz, situada no Rio de Janeiro-RJ, comprada da alemã Thyssenkrupp, agregando ao seu portfólio uma das siderúrgicas mais novas e tecnológicas do mundo. Com uma capacidade de produzir 5 milhões de toneladas de placas de aço por ano, com alto nível tecnológico, a unidade do Rio de Janeiro tem capacidade de produzir aço para atender às indústrias automotivas, de óleo e gás, de maquinário, linha branca, naval e de energia nos EUA, México, Brasil e Europa. A planta no Brasil é a maior fabricante de aço de toda a companhia e gera mais de 8 mil empregos, entre diretos e terceirizados.

A metalurgia e fabricação de aço é uma das atividades de manufatura mais antigas no ramo empresarial. Como descrito na introdução desta pesquisa, foi identificado que desde a segunda revolução industrial é estudado a fabricação de ferro e depois o aço. Atualmente, 2021, temos no Brasil empresas que foram instaladas a mais de 78 anos, como a Companhia Siderúrgica Nacional (planta de Volta Redonda-RJ da CSN). Entretanto, mesmo empresas com um processo produtivo tão antigo como a CSN estão sempre em desenvolvimento e ela busca, segundo informação de seu site oficial [<https://www.csn.com.br/>], estar atenta e apta as inovações tecnológicas na quarta revolução industrial.

A Ternium Brasil é uma empresa “relativamente” nova, visto que seus concorrentes têm mais de 50 anos e a Ternium iniciou sua produção no Brasil em 2010, mas a vantagem competitiva é a inovação tecnológica em seus processos. Enquanto seus concorrentes estão se automatizando, a Ternium já “nasceu” com todos os recursos da terceira revolução industrial.

A “fórmula” de fazer aço não se alterou nos últimos anos, mesmo que novas ligas de aço surgiram, mas a tecnologia neste processo de fabricação evoluiu muito e a Ternium é hoje uma das usinas siderúrgicas mais tecnológicas do mundo.

A avaliação do artefato desta pesquisa foi realizada com um teste de conceito aplicado aos questionamentos dos diagramas de questões padrões [DQP] referente aos atributos de Interatividade e Sistemabilidade, para ser mais específico e focado nesta pesquisa. Os dados que a Ternium autorizou a divulgação foram utilizados nesta etapa para responder as questões chaves destes atributos [alternativas], de forma a fechar uma prova de conceito focada para validação do artefato. O resultado dessa avaliação está no próximo item.

4.5.2 Maturidade da Ternium

Dos métodos estudados nesta pesquisa sobre avaliação da maturidade das empresas na implantação da Indústria 4.0, o mais estruturado foi o da Acatech (2020), como já ressaltado. Entretanto, não foi possível ter acesso ao questionário / avaliação completa da Acatech, mas a figura 19, que ilustra uma das perguntas do método da Acatech, possui uma questão do questionário, segundo o estudo de Schuh et al., 2020.

A pergunta da figura 19 é uma amostra do questionário da Acatech. Essa amostra não é suficiente para definir o nível de maturidade da empresa, mas ela foi respondida para a realidade da Ternium Brasil, que está na figura 33. As demais plantas que foram mapeadas nas visitas aos outros países, conforme apêndice A, não serão aplicáveis, visto que essa questão não foi aprofundada durante a visita.

Foram dadas respostas considerando 1 para não atende totalmente e 6 para o atende totalmente. Logicamente que esse questionário vai demonstrar somente uma ideia e ser uma amostra para a Ternium, pois é a resposta única de um colaborador. Como dito, somente essas perguntas não mapeiam a maturidade da Ternium, então não agregaria nada aplicar este pequeno questionário dentro da empresa.

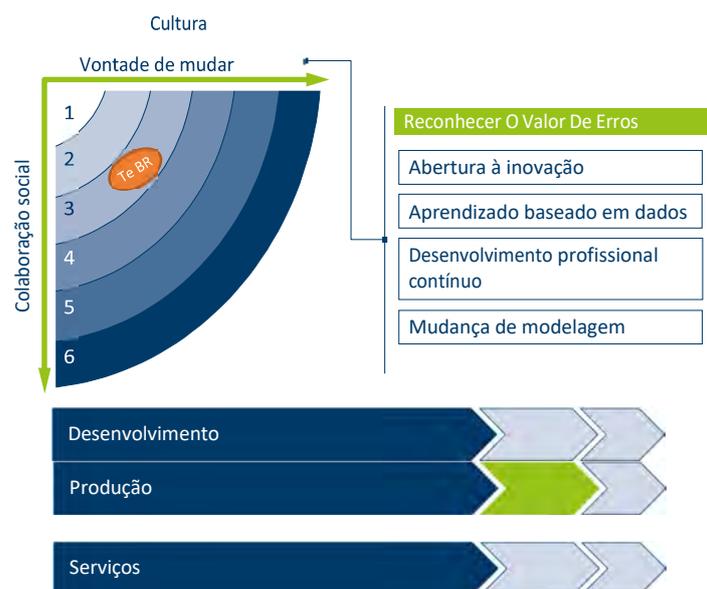


Figura 33 (Continua): Respostas do Brasil às perguntas do questionário Acatech. Fonte: Elaborado pelo autor.

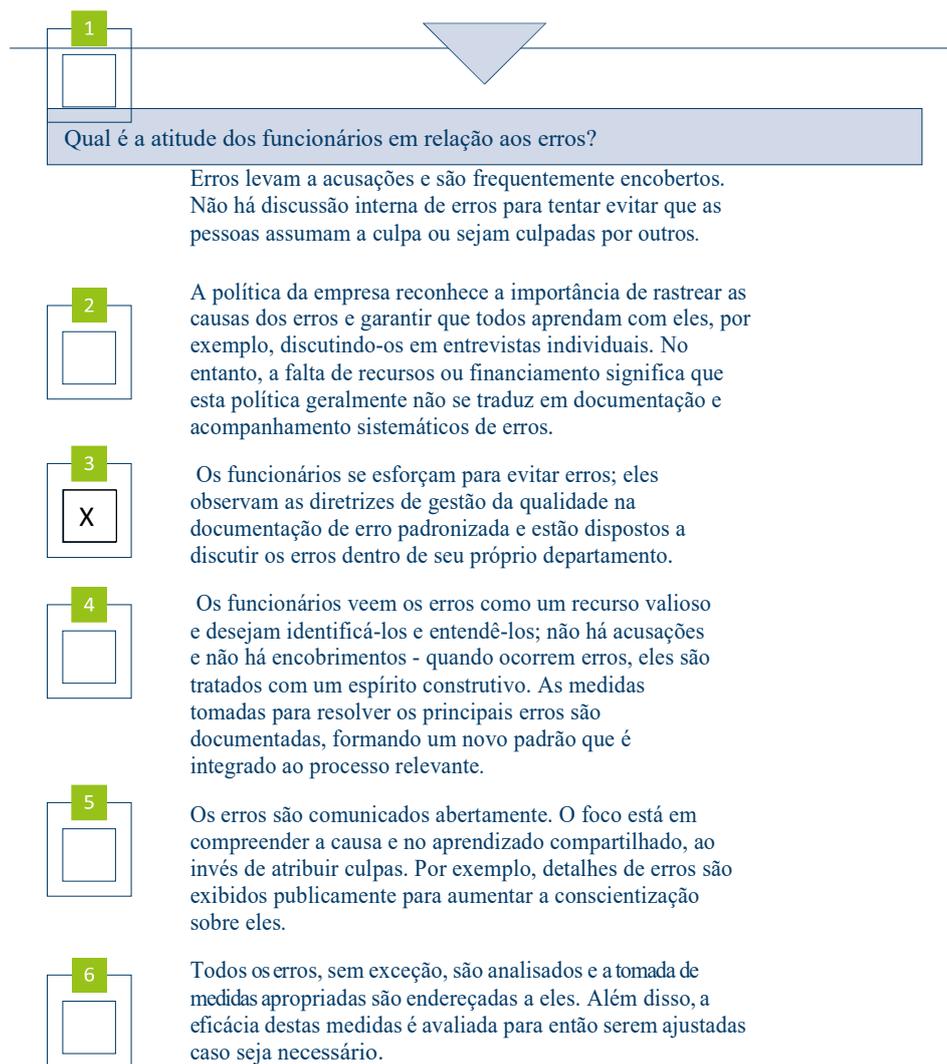


Figura 33 (Continuação): Respostas do Brasil às perguntas do questionário Acatech. Fonte: Elaborado pelo autor.

A Ternium Brasil trabalha com a valorização dos erros [falhas] e problemas e incentiva a discussão de todos eles, tendo uma política de análise de falha criteriosa para aqueles que param a produção. Toda falha que pare a produção principal da Aciaria por mais de 15 minutos precisa ter uma análise de falha e plano de ação consistente para evitar reincidência da falha ou mitigar o impacto caso não seja possível evita-la.

O mesmo critério não pode ser aplicado a toda a usina, pois cada área produtiva tem suas particularidades, mas a Ternium está desenvolvendo um sistema na rede corporativa para que a ferramenta de tratamento seja a mesma para todos. Além da padronização do processo de análise de falha, essa ferramenta online pode evoluir para ser acessada de qualquer local, se tornar um grande banco de dados e abrir caminho para softwares *Analytics* e *Machine Learn*.

Coincidentemente a nota 3 atribuída a pergunta da figura 33, a Ternium Brasil provavelmente se enquadraria no nível 3 de maturidade, o nível de visibilidade. A empresa tem a computadorização e conectividade bem implantada, já foi construída com muito sensoriamento e tem hoje a maioria de seus processos bem estruturados. Alguns processos são mais evoluídos que outros, o que é totalmente normal, mas ela já estaria entrando no nível da transparência.

Entretanto, ainda existem muitos pontos a melhorar para que ela possa se enquadrar totalmente no nível 4 de maturidade, o nível da transparência.

Com base em todo o estudo pesquisado nesta pesquisa foi considerado que este é o ponto onde a Ternium está hoje. Seguimos nos próximos tópicos com as avaliações feitas para dar considerações do que ela pode fazer para evoluir e aonde ela pode chegar.

4.5.3 Diagramas de questões padrões na Ternium

A Ternium precisa desenvolver o modelo digital, tão importante para o evoluir no desenvolvimento deste nível de transparência (SCHUH et al., 2020). Desta forma, o DQP para o atributo de modelabilidade foi o único desenvolvido nessa pesquisa para a Transparência. Todos os demais diagramas estão relacionados ao atributo de Capacidade Preditiva.

Para a avaliação deste artefato foi aplicado as questões dos diagramas de Divisibilidade e de Interatividade. Não foi ilustrado novamente os diagramas, mas somente os quadros, onde foi inserido as referências do ambiente da Ternium.

4.5.3.1 Divisibilidade na Ternium Br

Quadro 18 (continua): Quadro de alternativas aplicadas a Ternium Brasil para o atributo da Divisibilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR3	Pergunta	Alternativas	Ternium Brasil
R1	- O processo está dividido em unidades rastreáveis?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Utilização das ToIndustry4.0 em processos bem estruturados. ✓ Linhas de produção: Utilizar sensoriamento, sistemas de informação em rede e IoT para identificar condições individuais do processo, localização de produto, fase de produção etc. ✓ Áreas administrativas: Utilização de Analytics e robôs para automatizar processos financeiros e rastrear todas as etapas instantaneamente. Exemplo: posição do faturamento das empresas fornecedoras. 	<ul style="list-style-type: none"> • A Ternium Br não tem totalmente as ToIndustru4.0 implantada. • Ela já tem algumas aplicações com IoT, como câmeras inteligentes que monitoram os caminhos seguros, locais que os colaboradores devem andar para não se exporem ao risco de acidentes. As câmeras mandam advertências e comunicações aos líderes do colaborador que transitar fora do caminho, através de reconhecimento facial. • A usina possui muito sensoriamento nas linhas de produção. • Possui aplicações tecnológicas na área administrativa também, como será evidenciado com maiores detalhes no caso 3.
R2.1	- Processos são bem definidos com começo e fim? Entradas e saídas?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mapear as responsabilidades dos departamentos dentro da cadeia de suprimentos: Mariz de responsabilidades. ✓ Desenvolver fluxos estruturados dos processos de operação e manutenção. ✓ Definir etapas da produção, utilizar fluxos operacionais. 	<ul style="list-style-type: none"> • Possui poucas matrizes de responsabilidades das áreas, mas sem interação na cadeia de suprimentos. • As etapas da produção e fluxos de processos da operação e manutenção são bem estruturados.

Quadro 18 (continuação): Quadro de alternativas aplicadas a Ternium Brasil para o atributo da Divisibilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR3	Pergunta	Alternativas	Ternium Brasil
R2.2	- Processos produtivos utilizam sensores para garantir monitoramento de início e fim?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Definir ontologias e conjuntos de dados interoperáveis. ✓ Utilizar Modo de Operação Inteligente, buscando interoperabilidade entre o espaço físico e o espaço virtual. 	<ul style="list-style-type: none"> • Existe um nível de sensoriamento bom na empresa, ela é automatizada. • Não tem dados interoperáveis e interação de espaço físico e virtual.
R2.3	- A produção utiliza sensores para controle de qualidade automatizado?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Utilizar CPS integrados na <i>Cloud</i>. ✓ Sensores sem fio conectados a rede. ✓ Análise com BigD e <i>Analytics</i> de dados coletados do processo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Todo o controle de qualidade ainda é manual. • A Ternium tem projetos de desenvolvimento de robôs que serão implantados para controle de qualidade.
R2.4	- A produção é controlada instantaneamente em cada etapa do processo?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Produção ideal usando dados capturados instantaneamente. ✓ Sensores monitoram a condição operacional dos equipamentos em tempo real. 	<ul style="list-style-type: none"> • Temos alguns sensores na usina para controle de produção e condição, com pouca interação.
R3.1	- Existe sensoriamento capaz de identificar falhas ao longo do processo?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Implantação de ToIndustry4.0. ✓ Utilizar sensoriamento com ou sem cabo, conectados em rede. ✓ Controlar variáveis do processo. ✓ Monitorar KPIs dos processos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Temos alguns sistemas de monitoramento de condição com uso de sensores na usina. • Temos KPIs para controle que são alimentados e processados de forma manual.

Quadro 18 (continuação): Quadro de alternativas aplicadas a Ternium Brasil para o atributo da Divisibilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR3	Pergunta	Alternativas	Ternium Brasil
R3.2	- Os bancos de dados são estruturados de forma a facilitar a retirada de dados?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Padronizar entrada de dados para poder realizar tratamentos estatísticos. ✓ Utilizar MSPM – Monitoramento Estatístico Multivariado de Processo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Não atende as alternativas.
R3.3	<ul style="list-style-type: none"> - Existe tratativas das falhas? - Elas são rastreáveis por sistemas softwares? 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aplicar comunicação eficaz. ✓ Utilizar manutenção preditiva. ✓ Aplicar <i>Machine Learn</i>, sistemas de tomada de decisão inteligente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Existe aplicação de manutenção preditiva robusta na empresa. • A empresa tem programas de melhorias e desenvolvimento da comunicação interna, esta alternativa já foi mapeada. • Tem objetivo de trabalhar com <i>Machine Learn</i>, a área de desenvolvimento tecnológico tem projetos par este fim.

4.5.3.2 Interatividade na Ternium Br

Quadro 19 (continua): Quadro de alternativas aplicadas a Ternium Brasil para o atributo da Interatividade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR8	Pergunta	Alternativas	Ternium Brasil
R1	- Existe uma interação estruturada na empresa?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Motivar a interação / integração vertical e horizontal. ✓ Elaborar ferramentas de comunicação entre departamentos. ✓ Avaliar trabalho / resultados em equipes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Possui ferramentas de comunicação padrões. • Não existe ferramentas para interação interdepartamental. • Possui um departamento que auxilia a produção, manutenção e engenharia. Maiores detalhes será passado no caso 4.
R2.1	- Como é avaliado a performance individual e das equipes?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Utilizar processos de gestão do desempenho. ✓ Definir metas de desempenho individual, por departamento e por gerencias. ✓ Definir processos de incentivos e recompensas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Possui processo de avaliação de desempenho 270°. • Metas bem definidas atende a alternativa. • Possui programa de recompensa de bons resultados e soluções inovadoras dadas pelos colaboradores.
R2.2	- Há sistemas digitais de comunicação e interação entre os departamentos?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Usar comunicação em rede utilizando a <i>Cloud</i>. ✓ Implantar softwares de comunicação instantânea e intranet. ✓ Usar ferramentas IoT, conectividade da alta gestão até o chão de fábrica. ✓ Estabelecer compartilhamento de recursos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Existe aplicativos de mensagens instantâneas, e-mail profissional e comunicações na intranet. • Não atende aos demais itens.

Quadro 19 (continuação): Quadro de alternativas aplicadas a Ternium Brasil para o atributo da Interatividade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR8	Pergunta	Alternativas	Ternium Brasil
R2.3	- Como é a melhoria contínua da Interatividade Humana para trazer benefícios para a digitabilidade da empresa?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Adoção da Gestão 4.0: <ul style="list-style-type: none"> ○ Trabalhar com máquinas inteligentes. ○ Desenvolver cultura de funcionários inteligentes, focados em inovação tecnológica. ○ Incentivar a capacidade de apreender. ✓ Favorecer compartilhamento de recursos e da colaboração entre os processos com uso da MIIoT - <i>Manufacturing Internet of Things</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • Algumas iniciativas, mas não atende as alternativas totalmente.
R3.1	- Existe estruturas IHM (Interface Homem Máquina) estruturadas para se interagir?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Implantar sistemas de planejamento e controle inteligentes. ✓ Utilizar circuito fechado ciber-físico. ✓ Interação instantânea com o processo através IHM em estações e dispositivos de controle. 	<ul style="list-style-type: none"> • Possui muitos sistemas IHM instalados nas máquinas. • Projeto de disponibilização as informações contidas nos IHM para um software da rede para ser utilizado em monitoramento de condição. • Precisa melhorar muito em termos de aplicações inteligentes.
R3.2	- A engenharia de projetos avalia as IHM existentes antes de implantar um novo projeto?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Controlar tecnologias existentes. ✓ Interagir com sistema de gestão. ✓ Consultar / Considerar alinhamento vertical. 	<ul style="list-style-type: none"> • Não atende as alternativas.

Quadro 19 (continuação): Quadro de alternativas aplicadas a Ternium Brasil para o atributo da Interatividade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR8	Pergunta	Alternativas	Ternium Brasil
R3.3	- Existe padronização protocolos de instalação destes recursos para se interagirem?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Utilizar padrões FMI – <i>Funcional Mockup Interface</i>. ✓ Simulações computacionais. ✓ Buscar padronizar tecnologias, conforme viabilidade, favorecendo a manutenibilidade dos equipamentos, hardwares e softwares. 	<ul style="list-style-type: none"> • Não atende as alternativas.
R3.4	- Como a Interatividade Homem x Máquina pode trazer benefícios para a digitabilidade da empresa?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tomar decisões assertivas com base em IA – inteligência artificial. ✓ Automatizar / Robotizar processos administrativos bem estruturados. ✓ Protótipos realizados automaticamente com tecnologia 3D. 	<ul style="list-style-type: none"> • Usina não possui sistemas com IA. • Aplicação de digitalização em processos administrativos. Será dado mais detalhes no caso 3. • Uso de tecnologias 3D em fabricação de peças e escaneamento para projetos de engenharia.
R4.1	- A empresa trabalha com <i>Analytics</i> e <i>Machine Learn</i> ?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Identificar padrões de comportamentos ocultos. ✓ Correlacionar sistemas. ✓ Identificar clientes potenciais e preferenciais. 	<ul style="list-style-type: none"> • Não atende as alternativas.
R4.2	- Os processos estão estruturados / formulados de forma a favorecer a interface máquina x máquina?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Instalar de sensores sem fio de baixa potência; ✓ Utilizar Redes Industriais de Sensores Sem Fio (IWSNs); ✓ Utilizar Internet das Coisas Industrial (IIoT) 	<ul style="list-style-type: none"> • Possui aplicações com sensores sem fio, mas muitos ainda muitos são com cabo e não tem interação. • Demais alternativas com pouca aplicação.

Quadro 19 (continuação): Quadro de alternativas aplicadas a Ternium Brasil para o atributo da Interatividade. Fonte: Elaborado pelo autor.

NFR8	Pergunta	Alternativas	Ternium Brasil
R4.3	- Existe sistemas ciber-físicos (CPS) instalados?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Usar Loop de <i>Feedback</i> Sistemico. ✓ Computadores em rede monitoram e controlam os processos físicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Não atende as alternativas.
R4.4	- Como os CPS podem trazer benefícios para a digitabilidade da empresa?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Implantar a interação Ciber-Física da Manufatura. ✓ Criar fábricas inteligentes. ✓ Criar processos autônomos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Existem processos que trabalham com sensores para serem auto monitoráveis, mas eles não são totalmente autônomos. Maiores detalhes será passado no caso 2.

Com as respostas dispostas para as alternativas foi deduzido a aplicabilidade dos quadros.

Os detalhes de algumas aplicações foram colocados na próxima seção, para poder dar maiores informações e contribuir mais ao entendimento.

4.5.4 Casos do contexto Indústria 4.0 na Ternium Br

Os casos dispostos nesta seção descrevem algumas aplicações mais detalhadas das alternativas e conceitos que foram abordados nos DQPs e quadros anteriores.

4.5.4.1 Caso 1 – Projeto de controle de fluidos hidráulicos

Este caso se refere a um projeto de controle de fluidos hidráulicos na Ternium Br, que teve seu início em 2019 e está em implantação até o momento, com previsão de término em 2021. Ele trouxe resultados tão positivos que as demais plantas da Ternium já iniciaram em 2020 a replicação para suas áreas.

O projeto teve resultados positivos, mas é uma ação reativa e exemplifica bem como a aplicação do atributo de interatividade e também o impacto negativo da desorganabilidade.

A Ternium Br possui um sistema de indicadores consistentes e está implantando plataformas para disponibilizar estes indicadores na rede corporativa e que eles sejam alimentados / processados de forma automatizada. Hoje ainda é manual.

O processo de controle de custo de manutenção é bem estruturado a muito tempo na Ternium Br e ele é um KPI muito importante na empresa, de forma que começou a ser detalhado em outros indicadores (PIs), e um deles é o custo de materiais. A figura 34 ilustra uma tela dos indicadores que começou a ser alimentado na rede da Ternium Br.



Figura 34: Painel de indicadores do custo de manutenção da Ternium Br.

Não se gerencia aquilo que não se mede. Atendendo ao elevado custo de materiais, o gerente de manutenção central pediu um projeto a engenharia de manutenção para verificar os materiais que mais são consumidos, quais são os maiores “vilões” dos gastos.

O autor trabalha na engenharia de manutenção da Ternium Br e apoiou este projeto. Uma equipe foi trabalhar com o Almoxarifado para identificar maiores consumos, identificando e estratificando dados. O lubrificante e fluido hidráulico foram uns deles.

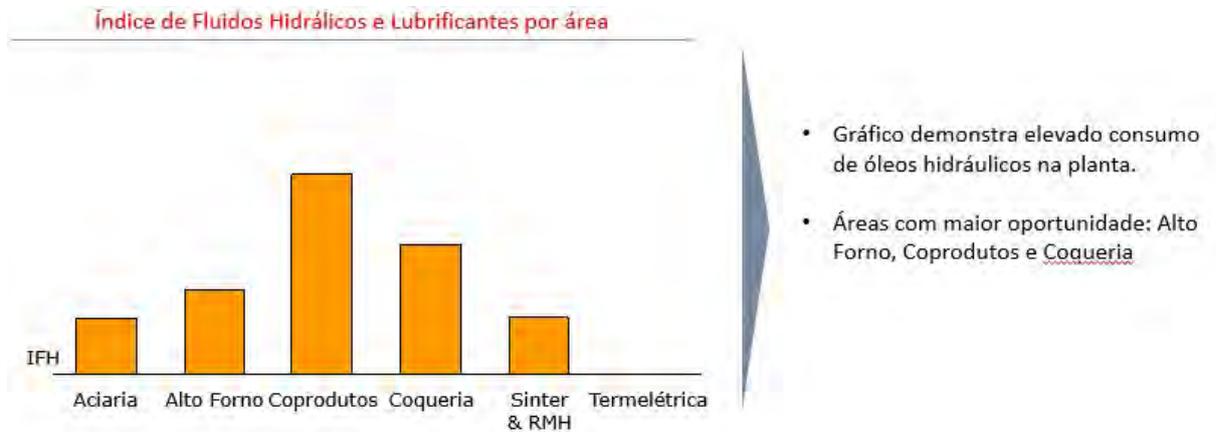


Figura 35: Levantamento de consumo de lubrificante por área.

A partir dessa informação, foi criado um projeto para controlar e reduzir consumo de lubrificante e fluidos hidráulicos na usina. Um novo indicador foi criado e diversas iniciativas para redução de vazamentos, controles e outras ações.

CONSUMO LUBRIFICANTES BRASIL

▼ TOTAL	1.111
▼ MANUTENÇÃO SEMIFIXO	1.111
➤ MANUTENÇÃO REDUÇÃO	1.111
➤ MANUTENÇÃO PORTO	1.111
➤ MANUT.CENTRAL E INFRAESTRUTURA	1.111
➤ MANUTENÇÃO ENERGIA E UTILIDADES	1.111
➤ MANUT.CO-PRODUTOS,SERVIÇOS & LOG INTERNA	1.111
➤ MANUTENÇÃO ACIARIA	1.111

Figura 36: Indicador de consumo de lubrificantes

Após 10 meses já foi possível identificar uma redução de 60% do custo de manutenção no consumo de fluido hidráulico e lubrificantes na usina. Esse caso demonstra como a falta de organização nos controles [desorganabilidade] trazem prejuízos a empresa, assim como a falta de interatividade humana impossibilita identificação de melhorias. Quando a Ternium começou a medir e colocar essas informações em um painel interativo, o assunto tomou mais relevância, pois o dado de que se gastava muito com lubrificantes e fluidos já se tinha a tempos com os gerentes e o Almoxarifado. O dado existia, mas não era transformado em informação e pouco utilizado. Faltou interação e um departamento que atentasse a isso de forma corporativa.

Uma diretriz para o departamento SBMO – *Strategic Business Management Office* – é estabelecer controles corporativos de forma estruturada, disponibilizando informações

importantes em rede para toda a empresa, com atualizações rápidas. Os dados devem ser adquiridos e processados instantaneamente. A proposta do recurso é utilizar a estrutura digital mínima do nível de maturidade de Transparência [da Acatech 2020], com um modelo [sombra] digital estruturado, evoluindo com uso de *Analytics*, BigD e *Machine Learn*, para o desenvolvimento da capacidade preditiva da empresa.

4.5.4.2 Caso 2 – Monitoramento de condição do conversor

Os conversores de aço da Aciaria são os equipamentos mais importantes da Ternium Br. Após uma falha catastrófica que deixou um conversor parado por 20 dias em 2016, acarretando um prejuízo gigante a usina, foi implantado nele um sistema de monitoramento de condição.

O sistema realiza medições de vibração, temperatura e deslocamento em tempo real do acionamento principal. Estas medições estão em rede, podendo ser acessada de qualquer lugar através da internet. A Ternium Br ficou tendo apoio do fabricante do conversor na Áustria para análises destes dados. Os sensores mediam a informação no Brasil e através da internet o engenheiro acessava o banco de dados para analisar e emitir relatórios. A estrutura do projeto está na figura 37:

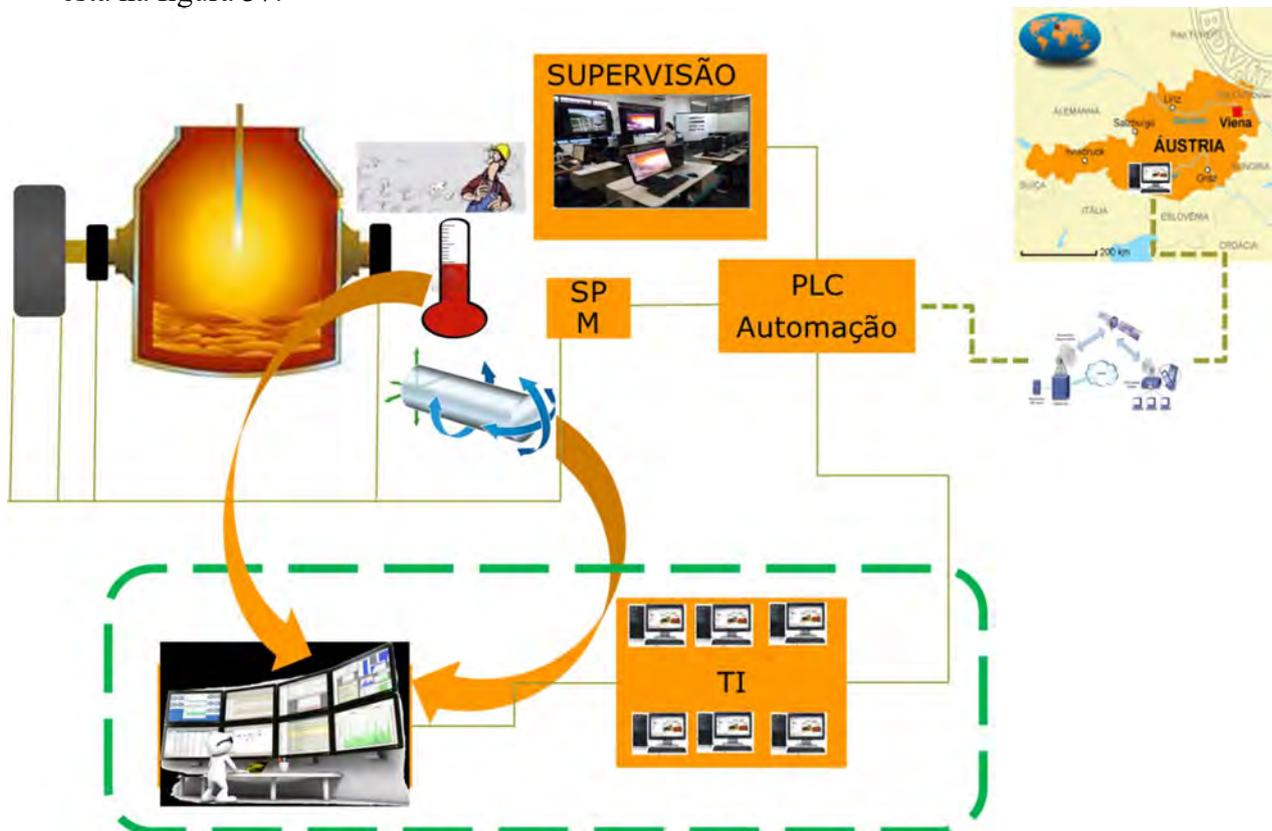


Figura 37: Topologia ilustrativa do sistema de monitoramento online dos conversores da Aciaria.

O projeto é um exemplo de aplicação da interatividade, principalmente no conceito Máquina x Máquina, pois o próprio sistema para a máquina em caso de alarme dos parâmetros medidos.

A solução foi idealizada a partir de um problema, então foi reativa. Um departamento atento aos problemas poderia identificar essas demandas com antecedência se tivessem monitorando dados de operação e manutenção. Entretanto, mesmo sendo um exemplo de aplicação tecnológica, ainda é uma aplicação reativa, pois está identificando problemas que já aconteceram. A evolução deste sistema é ter mais dados em BigD, utilizando softwares

Machine Learn para ter uma antecipação muito maior a problemas que vão acontecer e dar tempo a adaptabilidade do cenário atual para problemas futuros.

Uma diretriz para o departamento SBMO é ter informações da condição dos equipamentos das linhas de produção, trabalhando com as ToIndustry4.0, de forma a monitorar a condição operacional das linhas de produção instantaneamente e ser repositório de informações para projetos de melhorias.

4.5.4.3 Caso 3 – Entrada de materiais na Ternium Br

A Ternium utiliza a aplicação de robôs para atividades administrativas. São robôs softwares que facilitam a execução de atividades repetitivas. Neta linha, ela possui um sistema para controle e rastreamento de todo o processo de recebimento de material integrado ao setor de pagamento. O sistema só necessita de alguns inputs e segue totalmente automatizado e de forma que pode ser rastreável.

O material que chega na portaria da Ternium será cadastrado por este setor e depois ele segue para o Almoxarifado, onde outro colaborador checará se ele está de acordo com a nota. Dando o “ok” no sistema. Já passamos por dois setores até aqui. Depois do “ok” o processo segue totalmente sozinho, sistema manda a nota escaneada para contratos, no ambiente software, que confere o pedido, a descrição da nota e condições de pagamento no contrato, dando ok na entrada e enviando para contas a pagar o valor a ser faturado na data exata. Existem uma interface humana para evitar pagamentos errôneos, mas com um outro “ok” o sistema dispara a ordem para o pagamento ser feito automático na data especificada.

Este exemplo demonstra uma evolução no processo facilitado pela IoT e CPS aplicados ao ambiente administrativo. Ele será melhorar para ser autônomo, mas já é um passo considerável na implantação da Indústria 4.0 na Ternium.

Uma diretriz para o departamento SBMO é utilizar as informações de sistemas autônomos, que usam as ToIndustry4.0 para digitalizar e deixar autônomos os processos de forma a buscar interação vertical e horizontal em todos os processos da empresa.

Um exemplo de como essa diretriz poderia ajudar é a ocorrência de entradas de notas a serem pagas com 2 meses de atraso, entrando em outro ano fiscal, prejudicando todo o controle gerencial de contas da área de manutenção. Como ninguém realizava um controle adequado, não tinha nenhuma previsão disso.

4.5.4.4 Caso 4 – Departamento de Engenharia Industrial

Um curto exemplo neste último caso é a missão do departamento da Ternium chamado Engenharia Industrial. O objetivo deste departamento é semelhante ao SBMO, dar informações a diretoria para tomada de decisão.

Nenhum projeto CAPEX da Ternium é aprovado sem antes passar pela Engenharia Industrial. A função deste departamento é analisar a viabilidade técnico-econômica de todo projeto, calculando payback [tempo de retorno sobre o investimento], o impacto de melhoria e influência na capacidade de produção.

Diante destes dados, a Engenharia Industrial pode negar o projeto ou colocá-lo na lista de prioridade que ela controla para os investimentos. Um projeto pode ter seu conceito aceito e ir para o topo da lista de implantação. A decisão de aprovar a implantação do projeto é da diretoria, com base no plano estratégico da Ternium, mas com as informações da engenharia industrial essa decisão é facilitada.

Uma diretriz para o departamento SBMO é ter informações dos diversos setores da empresa para monitorar os dados relevantes, processá-los em informações e dar suporte a diretoria na tomada de decisões. Os indicadores devem ser estruturados com base em BSC – Balanced Score Card e mapas estratégicos da empresa. Logo, um pré-requisito é que a empresa tenha indicadores, BSC e mapas estratégicos estruturados.

5. CONCLUSÃO

Nas respostas das alternativas dispostas para o ambiente da Ternium foi evidenciado que ela possui algumas aplicações, como o sistema de monitoramento online dos conversores, que abrem caminho para evoluir no conceito de Indústria 4.0, mas que ainda tem um longo caminho a percorrer. Entretanto, o resultado da aplicação do quadro de alternativas junto aos seus DQPs foi satisfatório. O quadro de alternativas teve o objetivo de oferecer diretrizes, inputs e insights à Ternium, e a qualquer empresa, no quesito de “como fazer” para evoluir no nível de maturidade na implantação da Indústria 4.0.

As diretrizes estratégicas que esta pesquisa buscou estão nos quadros de alternativas e nos casos foram dadas diretrizes estratégicas complementares. Entretanto, todas as diretrizes foram elaboradas a partir do desdobramento de quatro principais, que são atributos de empresas com grande maturidade na implantação da Indústria 4.0. Sendo elas:

1. Desenvolver a capacidade de “ver” o que está acontecendo na empresa – conseguir controlar, monitorar e disponibilizar informações.
2. Desenvolver a capacidade de “entender” o que está acontecendo – conseguir transformar as informações de maneira amigável a toda a empresa.
3. Desenvolver a capacidade de estar preparado para o que vai acontecer – conseguir utilizar as informações disponíveis para prever cenários distintos para a empresa (internamente e externamente)
4. Desenvolver a auto-otimização para entender como uma resposta autônoma pode ser alcançada – conseguir utilizar as previsões e cenários disponíveis para tomar decisões e ações (para maximizar o retorno com o uso das ToIndustry4.0).

O objetivo dessa pesquisa foi elaborar um conjunto de diretrizes estratégicas, recorrendo-se ao suporte da Indústria 4.0, de modo a servir de um elemento integrador dos objetivos corporativos para a organização estudada. Esse objetivo foi atingido, visto que com base teórica foi apresentado um desdobramento estruturado de diretrizes que dão suporte à Ternium, e qualquer empresa, a se desenvolver na aplicação da Indústria 4.0, e o departamento proposto (SBMO – *Strategic Business Manament Office*) será um integrador horizontal e vertical da empresa. Ele facilitará a Ternium, e qualquer empresa, a evoluir do nível de Capacidade Preditiva para a Adaptabilidade. Desta forma, a empresa precisa evoluir totalmente na implantação do nível de Capacidade Preditiva e as diretrizes de como fazer isso estão nos quadros.

Mesmo que o objetivo inicial desta pesquisa tenha sido elaborar diretrizes para criar um departamento de monitoramento, controle e gestão de ativos nas empresas, o SBMO, foi concluído que as diretrizes atingidas [elaboradas] para auxiliar empresas no amadurecimento da sua capacidade preditiva satisfazem esse objetivo, visto que eles orientam as empresas em como se desenvolver no sentido de sensoriamento e também organização estratégica para que seja possível, e recomendado, a implantação do departamento. A maturidade no nível de Capacidade preditiva envolve ter integração vertical e horizontal e o departamento proposto é uma ferramenta para isso, uma ferramenta que utilizará recursos e processos bem estruturados nos conceitos da indústria 4.0, como foi proposto nos quadros de alternativas.

As empresas devem aplicar as diretrizes em processos que estão estruturados, organizados e bem definidos. O departamento irá integralizar e digitalizar os indicadores e mapas estratégicos da empresa, por exemplo, mas para isso os indicadores e mapas estratégicos devem existir. A principal contribuição desta quarta revolução industrial é ajudar as empresas a digitalizar processos e proporcionar um grande avanço na automatização da terceira revolução industrial. Se uma empresa não possui um processo estruturado, é impossível digitaliza-lo. É impossível digitalizar KPIs se o processo de medição dos mesmos não existe.

Entretanto, as evidências dispostas neste trabalho, principalmente sobre integração vertical e horizontal, demonstraram a viabilidade desta prática de digitalização. Por isso a Acatech a define essa digitalização como um atributo [qualidade] das empresas com maturidade avançada na implantação da Indústria 4.0.

O caso 4 – seção 4.5.4.4, do departamento de Engenharia Industrial da Ternium, é uma boa prática da usina e traz bons resultados, mas as funções deste departamento podem ser assumidas pela engenharia das empresas, dependerá do tamanho dela e quantidade de trabalho. Cada empresa avaliará a viabilidade de ter o departamento, o importante são as funções que ele executa, da mesma forma é o departamento proposto. Mais importante que o departamento, são as funções que foram propostas para que o departamento execute, que é gerar informações confiáveis.

As alternativas encontradas para evoluir no nível de maturidade de capacidade preditiva foram aplicadas satisfatoriamente na Ternium. Assim como apresenta viabilidade em outras empresas de médio e grande porte, que é o objetivo desta pesquisa. Criar um departamento para centralizar e processar informações ajuda, assim como a Engenharia Industrial é fundamental na engenharia da Ternium, dando informações preciosas para a diretoria, mas o acréscimo proposto pelo SBMO é dar informações também ao chão de fábrica.

Em 2001 Norton e Kaplan (2019) mencionaram sobre a viabilidade da empresa ter um Escritório de Planos e Análises [*Office of Plans and Analysis*] para desenvolvimento de planos estratégicos, mas sem mencionar nada sobre transformação digital ou tecnologias avançadas. Com este estudo, desenvolvemos o conceito de um departamento que dê suporte a elaboração dos planos estratégicos da empresa e tomada de decisão utilizando os recursos tecnológicos avançados que são vivenciados atualmente, 2021, de forma a ter a capacidade de levantar e processar uma grande quantidade de dados e informações para fundamentar as decisões estratégicas da empresa. O SBMO pode atuar como o Escritório de Planos e Análises proposto por Norton e Kaplan (2019) de forma facilitada pelas tecnologias que temos hoje.

O departamento dará suporte para a empresa avançar na maturidade da implantação da Indústria 4.0, tanto na capacidade preditiva como ajudando na Adaptabilidade. Evoluindo nesse nível e nos sistemas autônomos da empresa, o setor SBMO ficará cada vez menos dependente da interface humana. No futuro, com avanço de aplicações *Analytics*, *Machine Learning* e inteligência artificial, o SBMO poderá operar com poucas pessoas ou até mesmo nenhuma, dependendo do tamanho da empresa. Entretanto, as decisões estratégicas permanecerão nas mãos humanas. A função principal do departamento é gerar informações para a diretoria tomar decisões estratégicas e facilitar o desdobramento dessas decisões até o chão de fábrica e também para toda a cadeia de valor dos stakeholders do negócio.

A ideia do SBMO nasceu dos centros de controle de manutenção e operação das indústrias, mas durante a pesquisa identificamos, com a proposta de Norton e Kaplan (2019), que na administração essa ideia também é bem vista. O departamento é uma ferramenta de Gestão e Estratégia com suporte da administração, engenharia e tecnologia.

REFERÊNCIAS

ALÓ, Claudia Cappelli; LEITE, JCS do P. **Uma abordagem para transparência em processos organizacionais utilizando aspectos**. Rio de Janeiro, 2009.

ANTONIADIS, I.; TSIKIRIS, T.; TSOPOGLOY, S. Business Intelligence during times of crisis: Adoption and usage of ERP systems by SMEs. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 175, n. Supplement C, p. 299-307, 2015.

ARAUJO, A. Liz; ANDRADE, Wilkerson; GUERRERO, Dalton. Um Mapeamento Sistemático sobre a Avaliação do Pensamento Computacional no Brasil. **Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação**, [S.l.], p. 1147, 2016. ISSN 2316-8889. Disponível em: <<https://www.br-ie.org/pub/index.php/wcbie/article/view/7040>>. Acesso em: 10 set. 2019.

ASCHENBRENNER, Doris; LATOSCHIK, Marc Erich; SCHILLING, Klaus. Industrial maintenance with augmented reality: two case studies In: **Proceedings of the 22nd ACM Conference on Virtual Reality Software and Technology ACM**, p 341-342, 2016.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. Ed. Edições 70 Persona. São Paulo, 1977.

BARNEY, Jay B. Organizational Culture: Can It Be a Source of Sustained Competitive Advantage? **Academy of Management Review, Briarcliff Manor**, v. 11, n. 3. p. 656-665, July 1986.

BAX, Marcello Peixoto. Design science: filosofia da pesquisa em ciência da informação e tecnologia. **Questões em rede**, 2017.

BRASIL. Constituição (1991). Lei complementar nº 123, de 14 de dezembro de 2006. **Estatuto Nacional da Microempresa e da Empresa de Pequeno Porte**, Casa civil, republicado em 6.3.2012.

CARVALHO, C. André B. de; ANDRADE, R. M. de Castro; CASTRO, M. Franklin de; COUTINHO, E. Ferreira; AGOULMINE, Nazim. State of the art and challenges of security SLA for cloud computing. **Computers & Electrical Engineering**, volume 59, p. 141-152. 2017.

CHEN, Baotong et al. Smart factory of industry 4.0: Key technologies, application case, and challenges. **IEEE Access**, v. 6, p. 6505-6519, 2017.

CHUNG, Lawrence et al. **Non-functional requirements in software engineering**. Springer Science & Business Media, 2000.

COUGHLAN, Paul; COUGHLAN, David. Action research for operations management. **International journal of operations & production management**, 2002.

CRESWELL, John W. **Investigação qualitativa e projeto de pesquisa: escolhendo entre cinco abordagens**. Penso Editora, 2014.

DA CRUZ, Sérgio Manuel Serra; LEAL, André Luiz de Castro. Enhancing provenance representation with knowledge based on NFR conceptual modeling: a softgoal catalog approach. In: **International Provenance and Annotation Workshop**. Springer, Cham, p. 235-238, 2014.

DAVENPORT, Thomas H.; HARRIS, Jeanne G.; MORISON, Robert. **Analytics at work: Smarter decisions, better results**. Harvard Business Press, 2010.

- DEMO, Pedro. **Metodologia para quem quer aprender**. Editora Atlas SA, 2000.
- DEMO, Pedro. **Pesquisa: princípio científico e educativo**. Editora Cortez, 2011.
- DEMING, W. Edwards. **Out of the Crisis**. MIT Press Cambridge, Massachusetts, 1986.
- DEMING, W. Edwards. Quality, productivity, and competitive position. Cambridge. **MA: Massachusetts Institute of Technology**, Center for advanced engineering study, 1991.
- DICIO. **DICIO Dicionário online de português**. Editora 7 Graus, 2020. Disponível em: <<https://www.dicio.com.br/>>. Acesso em: 20 dez. 2020.
- DICIO. **DICIO Dicionário Online Caldas Aulete**. Lexikon Editora Digital, 2021. Disponível em: <<http://www.aulete.com.br/index.php>>. Acesso em: 20 jan. 2021.
- DOS SANTOS, I. Luiz; DOS SANTOS, R. Carlos; SILVA JR, Daniel de Souza. Análise da Industria 4.0 como Elemento Rompedor na Administração de Produção/Analysis of the Industry 4.0 How Breaking Element in Production Administration. **Future Studies Research Journal: Trends and Strategy**, v. 11, n. 1, p. 48-65, 2019.
- DOS SANTOS, José Glauber Cavalcante; CALÍOPE, Thalita Silva; NETO, José de Paula Barros. Sessão especial-Fast Track SEMEAD: Tem ação nessa pesquisa? Um levantamento da pesquisa-ação como estratégia de pesquisa qualitativa. **REGE-Revista de Gestão**, v. 24, n. 4, p. 336-347, 2017.
- ELMOAQET, Hisham et al. Design and Integration of an IoT Device for Training Purposes of Industry 4.0. In: **Proceedings of the 2nd International Symposium on Computer Science and Intelligent Control**. ACM, 2018. p. 25.
- EPSON. Óculos Inteligentes Epson Moverio BT-200. Disponível em: <<https://epson.com.br/Para-empresas/Wearables/Smart-Glasses/Óculos-Inteligentes-Epson-Moverio-BT-200/p/V11H560020>>. Acesso em 09/10/2020.
- FISCHMANN, Adalberto Américo; ZILBER, Moises Ari. Utilização de indicadores de desempenho para a tomada de decisões estratégicas: um sistema de controle. **Revista de Administração Mackenzie (Mackenzie Management Review)**, v. 1, n. 1, 2000.
- FRIEDL, Anton. Meeting Industrie 4.0 challenges with S-BPM. In: **Proceedings of the 10th International Conference on Subject-Oriented Business Process Management**. p. 3. ACM, 2018.
- GANZARAIN, Jaione; ERRASTI, Nekane (2016) : Three stage maturity model in SME's toward industry 4.0. **Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)**, OmniaScience, Barcelona, Vol. 9, Iss. 5, pp. 1119-1128, 2016. ISSN 2013-0953. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3926/jiem.2073>>. Acesso em: 17 ago. 2019.
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo, v. 5, n. 61, p. 16-17, 2002.
- GONÇALVES, Carlos Alberto; DE FREITAS COELHO, Mariana; DE SOUZA, Érika Márcia. VRIO: Vantagem competitiva sustentável pela organização. **Revista Ciências Administrativas**, v. 17, n. 3, 2014.
- GÖKALP, Ebru; ŞENER, Umut; EREN, P. Erhan. Development of an assessment model for industry 4.0: industry 4.0-MM. In: **International Conference on Software Process Improvement and Capability Determination**. Springer, Cham, p. 128-142. 2017.

HEVNER, Alan; CHATTERJEE, Samir. Design science research in information systems. In: **Design research in information systems**. Springer, Boston, MA, p. 9-22, 2010.

ILLA, Prasanna Kumar; PADHI, Nikhil. Practical Guide to Smart Factory Transition Using IoT, Big Data and Edge Analytics. **IEEE Access**, v. 6, p. 55162-55170, 2018.

KARDEC, Alan e NASCIF, Júlio. **MANUTENÇÃO PREDITIVA: fator de sucesso na gestão empresarial**. Editora Qualitymark, 2013.

KARDEC, Allan e NASCIF, Júlio. **Manutenção-função estratégica**. Qualitymark Editora Ltda. 4º edição, 2013.

KITCHENHAM, B.; PRETORIUS, R.; BUDGEN, D.; BRERETON, O.P.; TURNER, M.; NIAZI, M., LINKMAN, S., Systematic Literature Reviews in Software Engineering – A Tertiary Study, **Information and Software Technology**, volume 52, 2010, pp. 792–805.

KITCHENHAM, Barbara; BRERETON, Pearl; BUDGEN, David. Mapping study completeness and reliability – a case study. **IET Digital Library**. 2012.

LAFRAIA, R. J.; HARDWICK, J. **Vivendo a gestão de ativos**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora LTDA. 2015.

LEAL, André L. de Castro; BRAGA, José Luis; DA CRUZ, Sérgio Manuel Serra. Cataloguing provenance-awareness with patterns. In: **2015 IEEE Fifth International Workshop on Requirements Patterns (RePa)**. IEEE, p. 9-16, 2015.

LEE, Jay; KAO, Hung-an; YANG, Shanhu. Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment. **Procedia CIRP - Product Services Systems and Value Creation**. V. 16, Pág. 3-8, 2014.

LINS, Bernardo FE. Ferramentas básicas da qualidade. **Ciência da Informação**, v. 22, n. 2, 1993.

MARCONDES, Reynaldo Cavalheiro et al. Metodologia para trabalhos práticos e aplicados. São Paulo: Editora Mackenzil, 2017.

MICHAELS. **Michaelis Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa**. Editora Melhoramentos LTDA, 2021. Disponível em: <<https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/>>. Acesso em: 24 jan. 2021.

MITTAL, Sameer et al. A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). **Journal of manufacturing systems**, v. 49, p. 194-214, 2018.

MONOSTORI, László. Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. **Procedia Cirp**, v. 17, p. 9-13, 2014.

MORAES, Roque. Análise de conteúdo. **Revista Educação**, Porto Alegre, v. 22, n. 37, p. 7-32, 1999.

MOURTZIS, Dimitris; VLACHOU, Ekaterini; MILAS, Nikolaus; XANTHOPOULOS, Nikitas. A cloud-based approach for maintenance of machine tools and equipment based on shop-floor monitoring. **Procedia Cirp**, v. 41, p. 655-660, 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION ISO: 31000:2009, Risk management – Principles and guidelines.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION NBR-ISO: 55000:2014, Sistema de Gestão de Ativos – Visão geral, princípios e terminologia.

NORTON, David P. e KAPLAN, Robert S.. **ALINHAMENTO: Utilizando o Balanced Scorecard para criar sinergias corporativas**. Rio de Janeiro: Editora Altas Books, 2017.

NORTON, David P. e KAPLAN, Robert S.. **MAPAS ESTRATÉGICOS: Convertendo ativos intangíveis em resultados tangíveis**. Rio de Janeiro: Editora Altas Books, 2017.

NORTON, David P. e KAPLAN, Robert S.. **ORGANIZAÇÃO ORIENTADA PARA A ESTRATÉGIA, como empresas que adotaram o BALANCED SCORECARD prosperaram no novo ambiente de negócios**. Rio de Janeiro: Editora Altas Books, 2019.

NONATO, Franklin da Silva. TAVARES, Lourival A. **ÍNDICES BRASILEIROS DE MANUTENÇÃO: Um benchmarking para o mundo**. Qualitymark, Rio de Janeiro, 2018.

INSTITUTO DE GESTÃO DE ATIVOS. **PAS55**: publicly available specification 55. Especificação para gestão otimizada de ativos físicos. Manchester, 2008.

PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre Reis. **Administração da produção. Operações industriais e de serviços**. Unicenp, 2007.

PETERSEN, Kai; FELDT, Robert; MUJTABA, SHahid; MATTSSON, Michael. Systematic mapping studies in software engineering. In: **12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering - EASE**, vol. 17, no. 1, p. 1–10, 2008.

PORTER, Michael E. **ESTRATÉGIA COMPETITIVA: Técnicas para análise de Indústrias e da concorrência**. 7 ° Edição. Campus, 2004.

QI, Qinglin; TAO, Fei. Digital twin and big data towards smart manufacturing and industry 4.0: 360 degree comparison. **IEEE Access**, v. 6, p. 3585-3593, 2018.

QIN, Jian; LIU, Ying; GROSVENOR, Roger. A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond. **Procedia cirp**, v. 52, p. 173-178, 2016.

SCHUH, Günther; ANDERL, Reiner; DUMITRESCU, Roman; KRÜGER, Antonio; ten HOMPEL, Michael. Industrie 4.0 maturity index. Managing the Digital Transformation of Companies, **acatech STUDY**, 2020.

SCHUH, Günther et al. Systematic Analysis of IT Complexity Challenges Hindering the Implementation of Industrie 4.0 Roadmaps. In: **Proceedings of the 2019 the 5th International Conference on e-Society, e-Learning and e-Technologies ACM**, p. 104-108. 2019.

SCHUMACHER, Andreas; EROL, Selim; SIHN, Wilfried. A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. **Procedia Cirp**, v. 52, n. 1, p. 161-166, 2016.

SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial** (Edipro). São Paulo. 2016.

SCHWAB, Klaus; DAVIS, Nicolas. **Aplicando a quarta revolução industrial**. Edipro, São Paulo. 2018.

SILVA, Isaac Ambrosio da; BARBALHO, Sanderson César Macêdo. **Modelos de maturidade: do CMM aos modelos para indústria 4.0**. 2019.

SHU, Zhaogang et al. Cloud-integrated cyber-physical systems for complex industrial applications. **Mobile Networks and Applications**, v. 21, n. 5, p. 865-878, 2016.

SPENDER, John-Christopher et al. Startups and open innovation: a review of the literature. **European Journal of Innovation Management**, v. 20, n. 1, p. 4-30, 2017.

STEFAN, Leineweber et al. Concept for an evolutionary maturity based Industrie 4.0 migration model. **Procedia Cirp**, v. 72, p. 404-409, 2018.

TRIPP, David. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. **Educação e pesquisa**, v. 31, n. 3, p. 443-466, 2005.

TORI, Romero; KIRNER, Claudio; SISCOOTTO, Robson Augusto. **Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada**. Editora SBC, 2006.

TUMAC, Deniz. Artificial neural network application to predict the sawability performance of large diameter circular saws. **Measurement**, v. 80, p.12-20, 2016.

van AKEN, Joan Ernst; ROMME, Georges. Reinventing the future: adding design science to the repertoire of organization and management studies. **Organization Management Journal**, v. 6, n. 1, p. 5-12, 2009.

VERGARA, Sylvia Constant. **Métodos de pesquisa em administração**. Atlas, 2005.

XU, Xiaoya; HUA, Qingsong. Industrial big data analysis in smart factory: Current status and research strategies. **IEEE Access**, v. 5, p. 17543-17551, 2017.

WIERINGA, Roel J. **Design science methodology for information systems and software engineering**. Springer, 2014.

WITKOWSKI, Krzysztof. Internet of things, big data, industry 4.0—innovative solutions in logistics and supply chains management. **Procedia Engineering**, v. 182, p. 763-769, 2017.

YAN, Hehua; WAN, Jiafu; ZHANG, Chunhua; TANG, Shenglong; HUA, Qingsong; e WANG, Zhongren. Industrial big data analytics for prediction of remaining useful life based on deep learning. **IEEE Access**, v. 6, p. 17190-17197, 2018.

YAN, Jihong; MENG, Yue; LU, Lei; LI, Lin. Industrial big data in an industry 4.0 environment: Challenges, schemes, and applications for predictive maintenance. **IEEE Access**, v. 5, p. 23484-23491, 2017.

ZHANG, Hao et al. A generic data analytics system for manufacturing production. **Big Data Mining and Analytics**, v 1, n 2, p 160-171, 2018.

ZHONG, Ray Y. et al. Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. **Engineering**, v. 3, n. 5, p. 616-630, 2017.

APÊNDICE A – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DO PLANO DE VISITAS ESTRATÉGICAS DA TERNIUM

Esta apresentação foi elaborada pelo autor Franklin da Silva Nonato como um relatório das visitas realizadas nas plantas da Ternium na Argentina e no México. Essa apresentação foi feita para o gerente geral de manutenção e seus gerentes de manutenção no Brasil, gerente de manutenção central da Argentina e para o gerente de engenharia de manutenção do México. O objetivo foi demonstrar um resumo do que foi identificado nas visitas feitas as plantas no exterior da Ternium. Ela não foi totalmente alterada, mantendo alguns slides na forma original, dispondo os slides como figuras e em espanhol, por ser um documento elaborado e divulgado na Ternium.

Lista de figuras.

Figura A1: Capa do trabalho, slide de apresentação do serviço.

Figura A2: Roteiro da visita, indicando plantas a serem visitas e integrantes da equipe de viagem.

Figura A3: Estrutura (sumário) da apresentação.

Figura A4: Objetivos da visita.

Figura A5: Estrutura organizacional da equipe de preditiva do Brasil.

Figura A6: Estrutura organizacional da equipe de preditiva da Argentina.

Figura A7: Estrutura organizacional da equipe de preditiva do México.

Figura A8: Quadro comparativo das atividades realizadas em cada país.

Figura A9: Quadro de Oportunidades e Ameaças para Ternium (corporativo).

Figura A10: Matriz FOFA para o Brasil.

Figura A11: Matriz FOFA para a Argentina.

Figura A12: Matriz FOFA para o México.

Figura A13: Boas práticas identificadas, propostas para serem avaliadas quanto a sua aplicabilidade e viabilidade financeira no Brasil.

Figura A14: Boas práticas identificadas, propostas para serem avaliadas quanto a sua aplicabilidade e viabilidade financeira no Brasil.

Figura A15: Slide dedicado e apresentado somente para o Brasil.

Figura A16: Plano de ação Brasil. Slide dedicado e apresentado somente para o Brasil.

Figura A17: Encerramento da apresentação.

Gerência Geral Manutenção Central e Infraestrutura
Engenharia de Manutenção Expertise & Coord. de Preditiva

PLAN DE VISITAS ESTRATÉGICAS - MANTENIMIENTO CENTRAL

Plan generale- 18 de juniode 2019

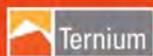


Figura A1: Capa do trabalho, slide de apresentação do serviço.



Figura A2: Roteiro da visita, indicando plantas a serem visitas e integrantes da equipe de viagem.

VISITAS ESTRATÉGICAS – MANTENIMIENTO CENTRAL

- ✓ Evaluación del objetivo
- ✓ Estructura organizativa y productividad
- ✓ Técnicas aplicadas
- ✓ Matriz FODA BR
- ✓ Matriz FODA AR
- ✓ Matriz FODA MX
- ✓ Buenas practicas
- ✓ Plan de acción



Figura A3: Estrutura (sumário) da apresentação.

VISITAS ESTRATÉGICAS - MANTENIMIENTO CENTRAL

Objetivos Generales:

- ✓ Identificar mejores prácticas de monitoreo de condición e ingeniería de mantenimiento en Ternium. ✓
- ✓ Integrar equipos e intercambiar experiencias técnicas con las unidades de Ternium en el exterior. ✓
- ✓ Identificar puntos de similitudes que podemos estandarizar dentro del grupo. ✓

Objetivos Específicos:

- ✓ Mapear el modelo de trabajo de las demás unidades de Ternium en el exterior; ✓
- ✓ Identificar oportunidades de mejoras para Brasil y para las demás unidades de Ternium; ✓
- ✓ Identificar oportunidades de ayuda mutua entre las unidades Ternium; ✓
- ✓ Identificar metodología de control de las rutinas; ✓
- ✓ Absorber experiencia en la utilización de las técnicas de US para fuga; ✓
- ✓ Identificar buenas prácticas de mantenimiento en correas transportadoras; ⚠
- ✓ Identificar buenas prácticas de control de calibración en equipos. ✓

Figura A4: Objetivos da visita.

Itens marcados em verdes não deixaram pendências. O item em amarelo precisou ser mais explorado, pois todas as plantas estavam em desenvolvimento destas “boas práticas”.

O objetivo principal das visitas foi avaliar a aplicação da manutenção preditiva. Os slides comparam a estrutura organizacional das equipes de preditiva de cada país. Uma questão levantada é qual o custo total de cada uma e qual o modelo mais viável.

ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL –BRASIL

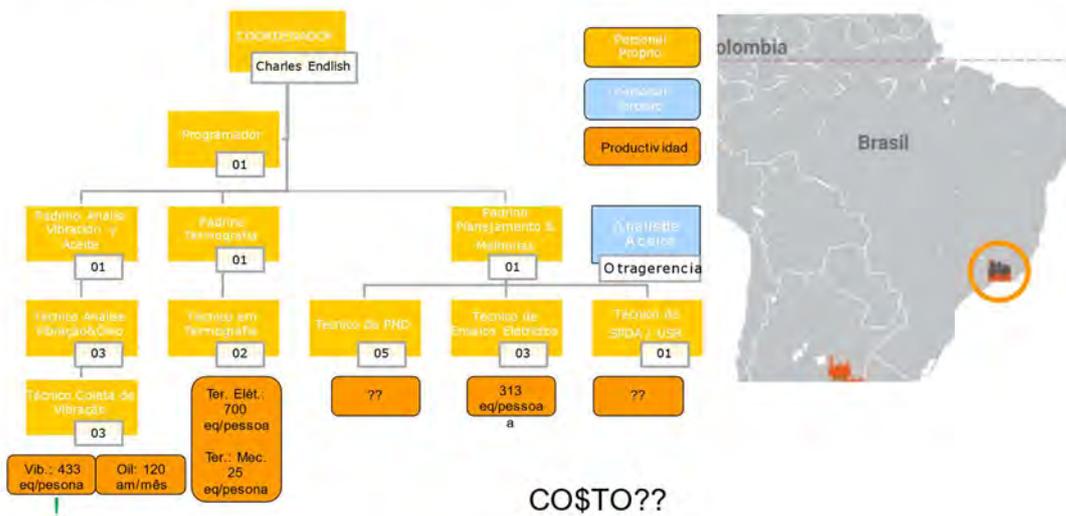


Figura A5: Estructura organizacional da equipe de preditiva do Brasil.

ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL – ARGENTINA

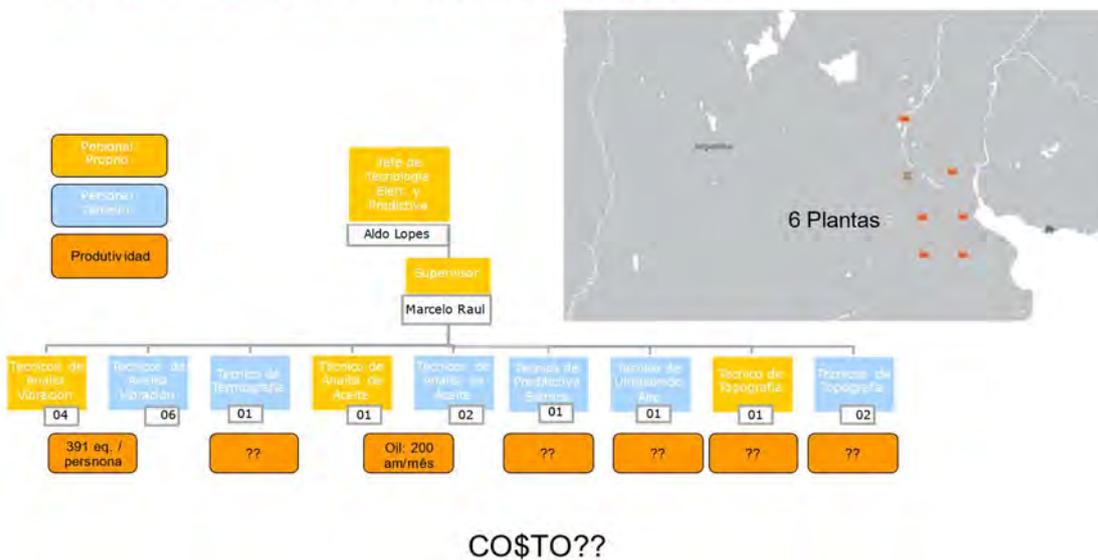


Figura A6: Estructura organizacional da equipe de preditiva da Argentina.

ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL – MÉXICO



Figura A7: Estrutura organizacional da equipe de preditiva do México.

VISITAS ESTRATÉGICAS – Resume

Item Avaliado	Brasil		México		Argentina	
	Insource	Outsource	Insource	Outsource	Insource	Outsource
1 Estructura	Predominante: Insource		Predominante: Outsource		Predominante: Outsource	
2 Técnicas Predictivas	Insource		Outsource		Insource	
2.1 Analisis de vibraciones	100%		100%		40% 60%	
2.2 Analisis de vibraciones Estructural - DDS	70% 30%		100%		No es Ejecutado	
2.3 Analisis de vibraciones Estructural - CAM	No es Ejecutado		100%		No es Ejecutado	
2.4 Analisis de lubricante	50% 50%		100%		30% 70%	
2.5 Analisis de Motores	100%		100%		0%	
2.6 Prebas No Destructivas	100%		100%		100% (otra gerencia)	
2.6.1 Medición de espesura	100%		100%		100% (otra gerencia)	
2.6.2 Líquido penetrante	100%		100%		100% (otra gerencia)	
2.6.3 Eddy Current - Inspeccion en cable de acero de bandas	100%		No es Ejecutado		No es Ejecutado	
2.6.4 Ultrasonido en solda	100%		100%		100% (otra gerencia)	
2.7 Ultrasonido en aire	100%		100%		100%	
2.8 Termografía Infraroja Eléctrica	100%		100%		100%	
2.9 Termografía Infraroja Mecánica	100%		100%		100%	
3 Servicios	Insource		Outsource		Insource	
3.1 Acondicionamiento de Fluidos	80% (otra gerencia)		20% (otra gerencia)		100%	
3.2 Alineacion Laser Equipos	100%		100%		100%	
3.3 Balanceo Dinámico	100%		100%		100%	
3.4 Boroscopia	100%		100%		No es Ejecutado	
3.5 Redpiente sujeto a presion			100% (No es predictiva)		100% (otra gerencia)	
3.6 Topografía			100% (otra gerencia)		100%	

Figura A8: quadro comparativo das atividades realizadas em cada país.

Foi elaborado um quadro de oportunidades e ameaças a nível corporativo, isto é, comum para toda a Ternium. Individualmente, foi entregue uma matriz FOFA – Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças – para os países.

VISITAS ESTRATÉGICAS – Oportunidad y Amenazas

Oportunidad Ternium Corporativo:

- ✓ Mejorar indicadores – establecer los mismos indicadores para medir todas las plantas.
- ❑ IAP = Adherencia de los Planes de Predicción
- ❑ IAN = Adherencia a las notas de mantenimiento oriundos de los planes de inspección (MB).
- ❖ **Eficiencia = IAP x IAN**
- ❑ IAD – Índice de acuerdo de diagnóstico
- ❑ IAR – Índice de acuerdo de reporte
- ❖ **Efectividad = IAD x IAR**
- ❑ IRC – Índice de Reducción de Costo
- ❑ IAR – Índice de Pierda Evitada
- ❖ **GAP (Ganancia con Predictiva)**
= (IRC + IAR)/Costo con predictiva

Amenaza Ternium Corporativo:

- ✓ Ciclo de mejora – pérdida de credibilidad con el clientes.
- ✓ Tiene poca preparación para la industria 4.0.

Notas

- ✓ IAP (Ejecución): Mantener medición por OM, pero hacer cierre parcial de OM incompletas (previsión de tener nivel de equipo, en SAP, en Mexico y Argentina = 2,5 años).
 - Contratar persona para modificar los planes para adecuar con subniveles.
- ✓ Efectividad – Establecido método de medición del IAD y IAR.
- ✓ GAP – Por ser muy difícil de implantar, podemos seguir con dos posibilidades:
 - Índice exclusivo de equipos estratégico (A+); o
 - Empezar para teste con todos por 6 meses

Figura A9: Quadro de Oportunidades e Ameaças para Ternium (corporativo).

FODA – Brasil

 Fuerzas	 Oportunidad
 <ul style="list-style-type: none"> ✓ Estabilidad del proceso predictivo; ✓ Aplicación del tecnologías y herramientas (Drones con termografía); ✓ Gestión de mantenimiento predictivo (Indic.) ✓ Mediciones Continuas (Sistemas Online) 	 <ul style="list-style-type: none"> ✓ Colocar alerta de avisos MB. ✓ Mejorar pruebas eléctricas. ✓ Implementar etiquetas de avisos. ✓ Implementar rutina de amplificación de movimiento, ultrasonido y detectar fuga de gases. ✓ Mejorar indicadores – establecer los mismos indicadores para medir todas las plantas .
Debilidad	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Capacitación – mejorar el conocimiento del técnicos de predictiva. ✓ Baja aherencia plan de análisis de vibración + Temperatura. ✓ Control del ganancia con la predictiva. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pierde crédito con el clientes. Dificultad del ter adherencia con inspección. ✓ <i>No identificar problemas en equipos estratégicos.</i> ✓ Ciclo de mejora – pérdida de credibilidad con el clientes. ✓ No tener preparación para la industria 4.0.

Figura A10: Matriz FOFA para o Brasil.

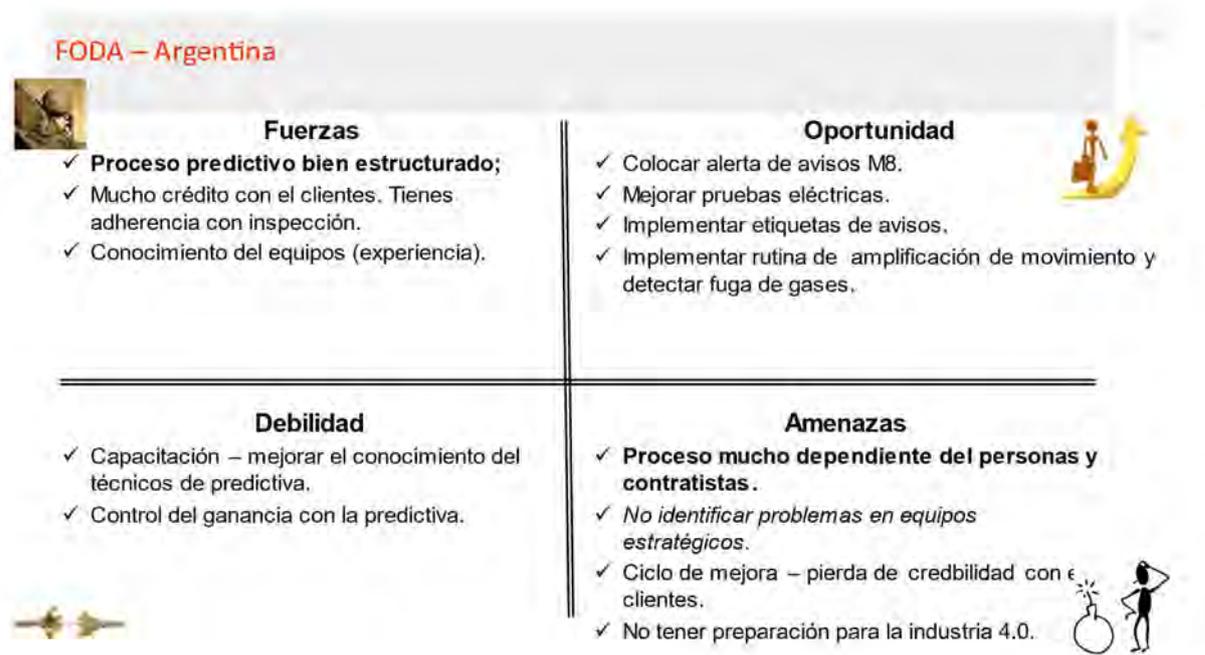


Figura A11: Matriz FOFA para a Argentina.

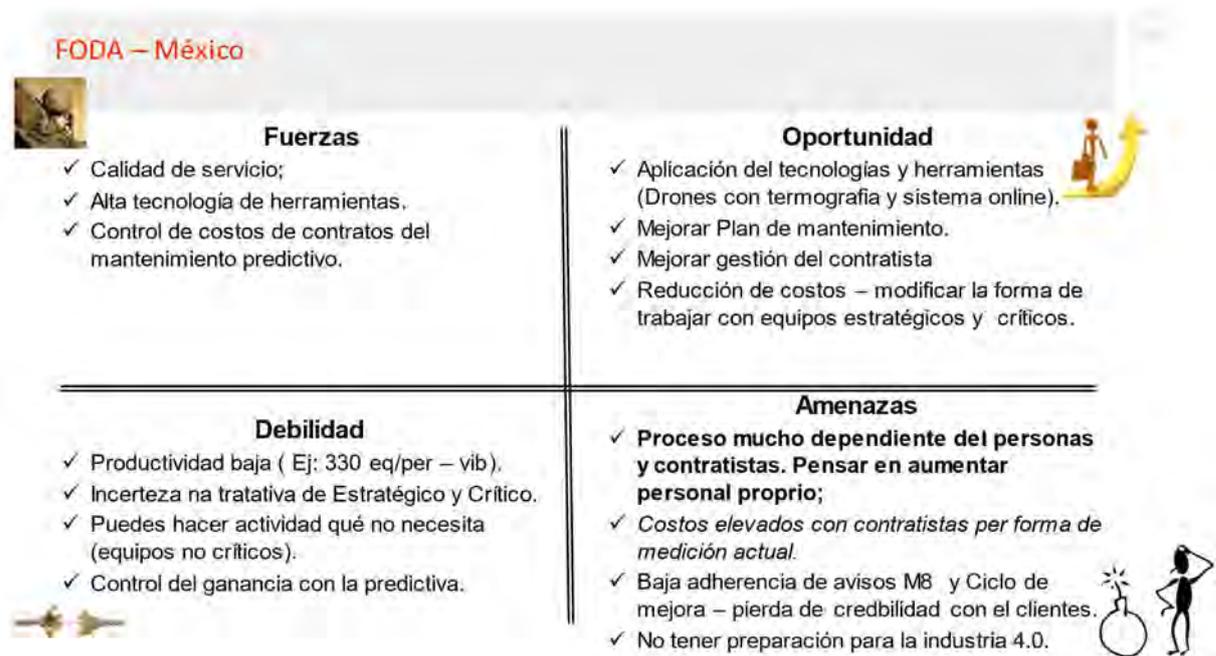


Figura A12: Matriz FOFA para o México.

VISITAS ESTRATÉGICAS

Buenas Practicas



13

Figura A13: Boas práticas identificadas, propostas para serem avaliadas quanto a sua aplicabilidade e viabilidade financeira no Brasil.

VISITAS ESTRATÉGICAS

Buenas Practicas



14

Figura A14: Boas práticas identificadas, propostas para serem avaliadas quanto a sua aplicabilidade e viabilidade financeira no Brasil.

VISITAS ESTRATÉGICAS

Compromissos

- ☀ Padronizar os indicadores, medir todas as plantas da mesma forma, assim permitindo benchmarking entre as plantas.
- ☀ Utilizar mesma metodologia para estabelecer níveis de alarmes para análise de lubrificante, assim permitindo comparar as condições operacionais de equipamentos similares nas plantas.
- ☀ Estabelecer juntos metodologias para criar ciclo de melhora contínua das estratégias de monitoramento de condição. Proposto fazer encontros periódicos.
- ☀ Criar grupo de comunicação de manutenção preditiva cooperativo.



Ponto de atenção Brasil

O mais relevante ponto a ser melhorado nas duas unidades é o nosso ponto forte, a estrutura rígida e processo estabilizado que temos no Brasil.

Figura A15: Slide dedicado e apresentado somente para o Brasil.

VISITAS ESTRATÉGICAS

Plan de acción

Ação	Responsável	Quando	Custo
Elaborar uma proposta estruturada de organização cooperativa da manutenção preditiva para Ternium ✓ Padrão de Indicadores de Preditiva ✓ Plano de treinamento do Inspetores para fazerem coletas; ✓ Capacitação de colaboradores do Brasil para atendimento remoto; ✓ Elaboração de fluxo de trabalho cooperativo.	Franklin Nonato	08/07/19	Sim, à calcular
Comprar coletor de dados da Acoem com análise automática – aumento de produtividade comprovada com a visita à Kinross.	Charles Endlish	30/07/19	R\$ 250.000
Implantar Matriz Única de Alarmes de análise de lubrificante	Franklin Nonato	30/07/19	Sem custos
Cadastrar alarmes no sistema de gestão do México. Cadastrar alarmes no sistema de gestão da Argentina. Cadastrar alarmes no sistema de gestão do Brasil.	Marcelo Tobias	30/08/19 10/09/19 30/09/19	Sem custos
Comprar aparelho de ensaios dinâmicos em motores elétricos.	Charles Endlish	30/08/19	R\$ 350.000
Implantar plano de pequenas ações de melhorias com base nas boas práticas ✓ Etiquetas; ✓ Relatórios; ✓ Indicadores de desempenho.	Franklin Nonato	30/08/19	Sim, mas custo baixo.



Figura A16: Plano de ação Brasil. Slide dedicado e apresentado somente para o Brasil.

VISITAS ESTRATÉGICAS



Figura A17: Encerramento da apresentação.

APÊNDICE B – REFERÊNCIAS DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO

- #1 - AKOKA, Jacky; COMYN-WATTIAU, Isabelle; LAOUFI, Nabil. Research on Big Data – A systematic mapping study. **Computer Standards & Interfaces**, v54, p105-115, 2017.
- #2 - ANDREACCHIO, Marco et al. Assessing cyber-physical systems to balance maintenance replacement policies and optimise long-run average costs for aircraft assets. **IET Cyber-Physical Systems: Theory & Applications**, v 4, n 2, p 148-155, 2018.
- #3 - ASCHENBRENNER, Doris; LATOSCHIK, Marc Erich; SCHILLING, Klaus. Industrial maintenance with augmented reality: two case studies. In: **Proceedings of the 22nd ACM Conference on Virtual Reality Software and Technology ACM**, p 341-342, 2016.
- #4 - BADER, Farah; RAHIMIFARD, Shahin. Challenges for Industrial Robot Applications in Food Manufacturing In: **Proceedings of the 2nd International Symposium on Computer Science and Intelligent Control ACM**, p37, 2018.
- #5 - BAGHERI, Mehdi; ZOLLANVARI, Amin; NEZHIVENKO, Svyatoslav. Transformer fault condition prognosis using vibration signals over cloud environment. **IEEE Access**, v 6, p 9862-9874, 2018.
- #6 - BLANCO-NOVOA, Oscar et al. A practical evaluation of commercial industrial augmented reality systems in an industry 40 shipyard **IEEE Access**, v 6, p 8201-8218, 2018.
- #7 - BUDIĆ, Zorica D; GODSCHALK, David R. Implementation and management effectiveness in adoption of GIS technology in local governments. **Computers, environment and urban systems**, v 18, n 5, p 285-304, 1994.
- #8 - CALI, Umit e ÇAKIR, Ozan. Energy Policy Instruments for Distributed Ledger Technology Empowered Peer-to-Peer Local Energy Markets. **IEEE Access**, v 7, p 82888-82900, 2019.
- #9 - CARINO, Jesus A et al. Enhanced industrial machinery condition monitoring methodology based on novelty detection and multi-modal analysis. **IEEE access**, v 4, p 7594-7604, 2016.
- #10 - CARON-FASAN, Marie-Laurence; JANISSEK-MUNIZ, Raquel. Análise de informações de inteligência estratégica antecipativa coletiva: proposição de um método, caso aplicado e experiências. **Revista de Administração&ccdeil da Universidade de São Paulo**, v. 39, n. 3, 2004.
- #11 - CHEN, Baotong et al. Smart factory of industry 40: Key technologies, application case, and challenges. **IEEE Access**, v 6, p 6505-6519, 2017
- #12 - CHEN, Ping-Kuo et al. Development of a supply chain integration process. **IEEE Access**, v 6, p 40226-40244, 2018.
- #13 - CHENG, Chih-Hong et al. Semantic degrees for industrie 40 engineering: Deciding on the degree of semantic formalization to select appropriate technologies In: **Proceedings of the 2015 10th Joint Meeting on Foundations of Software Engineering ACM**, p1010-1013, 2015.
- #14 - CIORTEA, Andrei; MAYER, Simon; MICHAHELLES, Florian. Repurposing manufacturing lines on the fly with multi-agent systems for the Web of Things. In: Proceedings of the 17th International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems. **International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems**, p. 813-822, 2018.
- #15 - DALLASEGA, Patrick. Industry 4.0 fostering construction supply chain management: Lessons learned from engineer-to-order suppliers. **IEEE Engineering Management Review**, v 46, n 3, p 49-55, 2018.
- #16 - DARSENA, Donatella; GELLI, Giacinto; VERDE, Francesco. Cloud-Aided Cognitive Ambient Backscatter Wireless Sensor Networks. **IEEE Access**, v 7, p 57399-57414, 2019.

- #17 - DE CARVALHO, Carlos André Batista et al. State of the art and challenges of security SLA for cloud computing. **Computers & Electrical Engineering**, v 59, p 141-152, 2017.
- #18 - DOS SANTOS, Ismael Luiz; DOS SANTOS, Ruan Carlos; JUNIOR, Daniel de Souza Silva. Analysis of the Industry 4.0 How Breaking Element in Production Administration **Future Studies Research Journal: Trends and Strategies**, v 11, n 1, 2019. Disponível em: <https://www.futurejournal.org/FSRJ/article/view/381>. Acesso em: 25 mai. 2020.
- #19 - DURMUŞOĞLU, Zeynep Didem Unutmaz; ÇİFTÇİ, Pınar Kocabey. The Evolution of the Industry 4.0: A Retrospective Analysis Using Text Mining. In: **Proceedings of the Fourth International Conference on Engineering & MIS ACM**, p59, 2018
- #20 - DZIURZANSKI, Piotr; SWAN, Jerry; INDRUSIAK, Leandro Soares. Value-based manufacturing optimisation in serverless clouds for industry 4.0 In: **Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference ACM**, p1222-1229, 2018.
- #21 - ELLWEIN, Carsten; ELSER, Anja; RIEDEL, Oliver. Production Planning and Control Systems: Breakage in Connectivity: Make them fit to fit altering conditions In: **Proceedings of the 2018 International Conference on Computers in Management and Business ACM**, p 54-58, 2018.
- #22 - ELMOAQET, Hisham et al. Design and Integration of an IoT Device for Training Purposes of Industry 4.0. In: **Proceedings of the 2nd International Symposium on Computer Science and Intelligent Control ACM**, p25, 2018.
- #23 - ELOMARI, Jawad; SVENSSON, Stefan U; OLSSON, Kerstin.. The role of simulation optimization in process automation for discrete manufacturing excellence In: **Proceedings of the 2018 Winter Simulation Conference IEEE Press**, p 4084-4085, 2018.
- #24 - FEIJOO-MARTÍNEZ, Juan Ramón et al. Event Analysis on Power Communication Networks With Big Data for Maintenance Forms. **IEEE Access**, v 6, p 72263-72274, 2018.
- #25 - FERNÁNDEZ-CARAMÉS, Tiago M; FRAGA-LAMAS, Paula. A review on human-centered iot-connected smart labels for the industry 4.0. **IEEE Access**, v.6, p 25939-25957, 2018.
- #26 - FERNÁNDEZ-CARAMÉS, Tiago M; FRAGA-LAMAS, Paula. A Review on the Application of Blockchain to the Next Generation of Cybersecure Industry 4.0 Smart Factories. **IEEE Access**, v 7, p 45201-45218, 2019.
- #27 - DELOITTE, Industry. 4.0: Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies. **Report, Deloitte AG**, 2015.
- #28 - FRAGA-LAMAS, Paula et al. A review on industrial augmented reality systems for the industry 4.0 shipyard. **IEEE Access**, v 6, p 13358-13375, 2018
- #29 - FRIEDL, Anton. Meeting Industrie 4.0 challenges with S-BPM. In: **Proceedings of the 10th International Conference on Subject-Oriented Business Process Management ACM**, p3, 2018.
- #30 - GAGGERO, Mauro et al. When Time Matters: Predictive Mission Planning in Cyber-Physical Scenarios. **IEEE Access**, v 7, p 11246-11257, 2019.
- #31 - GALLETTA, Antonino et al. A cloud-based system for improving retention marketing loyalty programs in industry 4.0: a study on big data storage implications. **IEEE Access**, v 6, p 5485-5492, 2017.
- #32 - HALLER, Piroska; GENGE, Béla. Using sensitivity analysis and cross-association for the design of intrusion detection systems in industrial cyber-physical systems. **IEEE Access**, v 5, p 9336-9347, 2017.
- #33 - HARRISON, Robert; VERA, Daniel; AHMAD, Bilal. Engineering methods and tools for cyber-physical automation systems. **Proceedings of the IEEE**, v104, n5, p.973-985, 2016.
- #34 - HE, Zhenzhen et al. Big Data-Oriented Product Infant Failure Intelligent Root Cause Identification Using Associated Tree and Fuzzy DEA. **IEEE Access**, v7, p34687-34698, 2019.

- #35 - HERTERICH, Matthias; UEBERNICKEL, Fallk; BRENNER, Walter. The impact of cyber-physical systems on industrial services in manufacturing. **Procedia CIRP - Product Services Systems and Value Creation**. v30, p.323-328, 2015. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.2110>. Acesso em: 30 mai. 2020.
- #36 - HESSE, Guenter et al. A new application benchmark for data stream processing architectures in an enterprise context: doctoral symposium In: **Proceedings of the 11th ACM International Conference on Distributed and Event-based Systems ACM**, p359-362, 2017.
- #37 - HUNG, Wei-Hsi et al. Analysis of Key Success Factors for Industry 4.0 Development. In: **Proceedings of the 2019 5th International Conference on E-business and Mobile Commerce ACM**, p 51-56, 2019.
- #38 - IGLESIAS, Aitziber et al. Product line engineering of monitoring functionality in industrial cyber-physical systems: A domain analysis. In: **Proceedings of the 21st International Systems and Software Product Line Conference – Volume A ACM**, p. 195-204, 2017.
- #39 - ILLA, Prasanna Kumar; PADHI, Nikhil. Practical Guide to Smart Factory Transition Using IoT, Big Data and Edge Analytics. **IEEE Access**, v 6, p 55162-55170, 2018.
- #40 - JENDERNY, Sascha et al. Development of an instrument for the assessment of scenarios of work 4.0 based on socio-technical criteria. In: **Proceedings of the 11th Pervasive Technologies Related to Assistive Environments Conference ACM**, p. 319-326, 2018.
- #41 - JIANG, Yuchen; YIN, Shen; KAYNAK, Okyay. Data-driven monitoring and safety control of industrial cyber-physical systems: Basics and beyond. **IEEE Access**, v 6, p 47374-47384, 2018.
- #42 - JIANG, Zengqiang et al. Distributed dynamic scheduling for cyber-physical production systems based on a multi-agent system. **IEEE Access**, v 6, p 1855-1869, 2017.
- #43 - KHODABAKHSH, Athar et al. Multivariate sensor data analysis for oil refineries and multi-mode identification of system behavior in real-time. **IEEE Access**, v 6, p. 64389-64405, 2018.
- #44 - KOLYVAKIS, Prodromos; YOO, Min-Jung; KIRITSIS, Dimitris. Knowledge as a service in the IoT era In: **Proceedings of the 1st International Conference on Internet of Things and Machine Learning ACM**, p23, 2017.
- #45 - KURU, Kaya; YETGIN, Halil. Transformation to advanced mechatronics systems within new industrial revolution: A novel framework in Automation of Everything (AoE). **IEEE Access**, v 7, p 41395-41415, 2019.
- #46 - LANZA, Jorge et al. Experimentation as a service over semantically interoperable Internet of Things testbeds. **IEEE Access**, v 6, p 51607-51625, 2018.
- #47 - LEE, Jay; KAO, Hung-an; YANG, Shanhu. Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment. **Procedia CIRP - Product Services Systems and Value Creation**, v 16, Pág 3-8, 2014.
- #48 - LHACHEMI, Hugo; MALIK, Ammar; SHORTEN, Robert. Augmented Reality, Cyber-Physical Systems, and Feedback Control for Additive Manufacturing: A Review. **IEEE Access**, v 7, p 50119-50135, 2019.
- #49 - LI, Xiaomin et al. Exploiting Industrial Big Data Strategy for Load Balancing in Industrial Wireless Mobile Networks. **IEEE Access**, v 6, p 6644-6653, 2017.
- #50 - LIN, Chun-Cheng et al. Concept Drift Detection and Adaption in Big Imbalance Industrial IoT Data Using an Ensemble Learning Method of Offline Classifiers. **IEEE Access**, v 7, p 56198-56207, 2019.
- #51 - LIU, Datong et al. Ieee Access Special Section Editorial: Complex System Health Management Based On Condition Monitoring And Test Data. **IEEE Access**, v 6, p 72028-72032, 2018.

- #52 - LIU, Qiang; ZHANG, Hao; WAN, Jiafu; e CHEN, Xin. An access control model for resource sharing based on the Role-Based access control intended for Multi-domain manufacturing Internet of Things. **IEEE Access**, v. 5, p. 7001-7011, 2017.
- #53 - LOPEZ, Cindy-Pamela; SEGURA, Marco; SANTÓRUM, Marco. Data Analytics and BI Framework based on Collective Intelligence and the Industry 40 In: **Proceedings of the 2019 2nd International Conference on Information Science and Systems ACM**, p 93-98, 2019.
- #54 - LUGARESI, Giovanni; MATTA, Andrea. Real-time simulation in manufacturing systems: challenges and research directions. In: **2018 Winter Simulation Conference (WSC) IEEE**, p 3319-3330, 2018.
- #55 - MANDA, More Ickson; BEN DHAOU, Soumaya. Responding to the challenges and opportunities in the 4th Industrial revolution in developing countries In: **Proceedings of the 12th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance ACM**, p 244-253, 2019.
- #56 - MARINAGI, Catherine; SKOURLAS, Christos; GALIOTOU, Eleni. Advanced information technology solutions for implementing information sharing across supply chains. In: **Proceedings of the 22nd Pan-Hellenic Conference on Informatics. ACM**, p. 99-102, 2018.
- #57 - MENDONÇA, Claudio M. Campos de; ANDEADE, António; NETO, Manoel V de Sousa Uso do IoT, big data e inteligência artificial nas capacidades dinâmicas e seus Microfundamentos. **Veritati - Repositório Institucional**, 2018.
- #58 - MIRANDA, Roberto Campos da Rocha. O uso da informação na formulação de ações estratégicas pelas empresas. **Ci. Inf., Brasília**, v. 28, n. 3, p. 286-292, 1999.
- #59 - MOHAMED, Nader; AL-JAROODI, Jameela; LAZAROVA-MOLNAR, Sanja. Leveraging the capabilities of industry 40 for improving energy efficiency in smart factories **IEEE Access**, v 7, p 18008-18020, 2019.
- #60 - XU, Xiaoya e HUA, Qingsong. Industrial big data analysis in smart factory: Current status and research strategies. **Ieee Access**, v. 5, p. 17543-17551, 2017.
- #61 - MOTTA, Rebeca C; DE OLIVEIRA, Káthia M; TRAVASSOS, Guilherme H. On challenges in engineering IoT software systems In: **Proceedings of the XXXII Brazilian Symposium on Software Engineering ACM**, p 42-51, 2018.
- #62 - MOUELHI, Sebti et al. Predictive Formal Analysis of Resilience in Cyber-Physical Systems. **IEEE Access**, v 7, p 33741-33758, 2019.
- #63 - MOUSTAFA, Nour et al. A new threat intelligence scheme for safeguarding industry 4.0 systems. **IEEE Access**, v 6, p 32910-32924, 2018.
- #64 - MULLER, Hausi A. **The rise of intelligent cyber-physical systems**. 2017.
- #65 - NEUBAUER, Matthias; KRENN, Florian. Subject-oriented design of smart hyper-connected logistics systems In: **Proceedings of the 9th Conference on Subject-oriented Business Process Management ACM**, p. 5, 2017.
- #66 - NIENKE, Steffen; SCHUH, Günther; FRÖLIAN, Hendrik; ZELLER, Violet. Energy-management 4.0: roadmap towards the self-optimising production of the future In: **Proceedings of the 6th International Conference on Informatics, Environment, Energy and Applications ACM**, p 6-10, 2017.
- #67 - NIKOUKAR, Ali et al. Low-power wireless for the internet of things: Standards and applications. **IEEE Access**, v 6, p 67893-67926, 2018.
- #68 - OSTERMEYER, Emeric et al. An ontology-based framework for the management of machining information in a data mining perspective. **IFAC-PapersOnLine**, v 51, n 11, p 302-307, 2018.
- #69 - PARAVIZO, Esdras et al. Exploring gamification to support manufacturing education on industry 40 as an enabler for innovation and sustainability. **Procedia Manufacturing**, v 21, p 438-445, 2018.

- #70 - PARK, Han-Sol et al. In-Memory Data Grid System for Real-Time Processing of Machine Sensor Data in a Smart Factory Environment. In: **Proceedings of the 2015 International Conference on Big Data Applications and Services ACM**, p 92-97, 2015.
- #71 - PERES, Ricardo Silva et al. Multistage quality control using machine learning in the automotive Industry. **IEEE Access**, v 7, p 79908-79916, 2019.
- #72 - QI, Qinglin; TAO, Fei. Digital twin and big data towards smart manufacturing and industry 40: 360 degree comparison. **IEEE Access**, v 6, p 3585-3593, 2018.
- #73 - REIMANN, Jan; SZIEBIG, Gabor. The Intelligent Factory Space—A Concept for Observing, Learning and Communicating in the Digitalized Factory. **IEEE Access**, 2019.
- #74 - REN, Gang et al. A multi-perspective method for analysis of cooperative behaviors among industrial devices of smart factory. **IEEE Access**, v 5, p 10882-10891, 2017.
- #75 - SAHMI, Imane; MAZRI, Tomader; HMINA, Nabil. Study of the Different Security Threats on the Internet of Things and their Applications In: **Proceedings of the 2nd International Conference on Networking, Information Systems & Security ACM**, p. 68, 2019.
- #76 - SCHUH, Günther et al. Systematic Analysis of IT Complexity Challenges Hindering the Implementation of Industrie 40 Roadmaps. In: **Proceedings of the 2019 the 5th International Conference on e-Society, e-Learning and e-Technologies ACM**, p 104-108, 2019.
- #77 - SHAABAN, Abdelkader Magdy et al. CloudWoT-A Reference Model for Knowledge-based IoT Solutions In: **Proceedings of the 20th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services ACM**, p 272-281, 2018.
- #78 - SHEPHERD, Anne; ORTOLANO, Leonard. Critiquing expert systems for planning and management. **Computers, environment and urban systems**, v 18, n 5, p 305-314, 1994.
- #79 - SUN, Chengyuan e HOU, Jian. An improved principal component regression for quality-related process monitoring of industrial control systems. **IEEE Access**, v 5, p 21723-21730, 2017.
- #80 - SZÁNTÓ, Zoltán; SÁNDOR, Hunor; GENGE, Béla. A Testbed for Performing Security Experiments with Software-Defined Industrial Control Systems In: **Proceedings of the Central European Cybersecurity Conference 2018 ACM**, p. 6, 2018.
- #81 - TAO, Fei; ZHANG, Meng. Digital twin shop-floor: a new shop-floor paradigm towards smart manufacturing. **IEEE Access**, v 5, p 20418-20427, 2017.
- #82 - TEH, Jiashen; LAI, Ching-Ming. Reliability impacts of the dynamic thermal rating system on smart grids considering wireless communications. **IEEE Access**, v 7, p 41625-41635, 2019.
- #83 - THIRUNAVUKKARASU, Gokul Sidarth et al. IoT-Based System Health Management Infrastructure as a Service In: **Proceedings of the 2018 International Conference on Cloud Computing and Internet of Things ACM**, p 55-61, 2018.
- #84 - TJAHJONO, Benny; ESPLUGUES, C; ARESC, E; PELAEZC, G. What does industry 40 mean to supply chain? **Procedia Manufacturing** Vol 13, PÁG 1175-1182, 2017.
- #85 - VENKATASUBRAMANIAN, Venkat. Process fault detection and diagnosis: Past, present and future. **IFAC Proceedings Volumes**, v 34, n 27, p 1-13, 2001.
- #86 - VIEIRA, Zea Duque; MAYERHOFF, Luna. Uma análise sobre os estudos de prospecção tecnológica. **Cadernos de Prospecção**, Vol1, N1 – p. 7-9, 2008.
- #87 - WAGNER, Tobias; HERRMANN, Christoph; THIEDE, Sebastian. Industry 4.0 Impacts on Lean Production Systems. **ELSEVIER - Procedia Engineering**, Vol 63, p. 125-131, 2017.
- #88 - WAN, Jiafu et al. Artificial intelligence for cloud-assisted smart factory. **IEEE Access**, v 6, p 55419-55430, 2018.
- #89 - Liu, D., Liao, H., Zio, E., Miao, Q., Zhang, B., Hu, C., & Azarian, M. H. (2018). Ieee Access Special Section Editorial: Complex System Health Management Based On Condition Monitoring And Test Data. **IEEE Access**, 6, 72028-72032, 2018.

- #90 - WANG, Shiyong et al. An integrated industrial ethernet solution for the implementation of smart factory. **IEEE Access**, v 5, p 25455-25462, 2017.
- #91 - WITKOWSKI, Krzysztof. Internet of Things, Big Data, Industry 40 – Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management. **Revista Procedia Engineering**, v 182, p. 763-769, 2017.
- #92 - XU, Hansong et al. A survey on industrial Internet of Things: A cyber-physical systems perspective. **IEEE Access**, v 6, p 78238-78259, 2018.
- #93 - YAN, Hehua et al. Industrial big data analytics for prediction of remaining useful life based on deep learning. **IEEE Access**, v 6, p 17190-17197, 2018.
- #94 - YAN, Jihong et al. Industrial big data in an industry 4.0 environment: Challenges, schemes, and applications for predictive maintenance. **IEEE Access**, v 5, p 23484-23491, 2017.
- #95 - YANG, Wenhe; TAKAKUWA, Soemon. Simulation-based dynamic shop floor scheduling for a flexible manufacturing system in the industry 40 environment In: **2017 Winter Simulation Conference (WSC) IEEE**, p. 3908-3916, 2017.
- #96 - YANG, Wenli et al. A Survey on Blockchain-based Internet Service Architecture: Requirements, Challenges, Trends and Future. **IEEE Access**, 2019.
- #97 - YU, Zhenhua et al. Trustworthiness modeling and analysis of cyber-physical manufacturing systems. **IEEE Access**, v 5, p 26076-26085, 2017.
- #98 - ZHANG, Hao et al. A generic data analytics system for manufacturing production. **Big Data Mining and Analytics**, v 1, n 2, p 160-171, 2018.
- #99 - ZHANG, Yan-Kui et al. Direct position determination of non-circular sources based on a Doppler-extended aperture with a moving coprime array. **IEEE Access**, v. 6, p. 61014-61021, 2018.
- #100 - ZHONG, Ray Y; XU, Xun; KLOTZ, Ederhard; NEWMAN, Stephen. Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. **Engineering v. 43741**, p. 616-630, 2017.
- #101 - ZHOU, Nan et al. Model-based development of knowledge-driven self-reconfigurable machine control systems. **IEEE Access**, v 5, p 19909-19919, 2017.
- #102 - ZHU, Xingtong; XIONG, Jianbin; LIANG, Qiong. Fault diagnosis of rotation machinery based on support vector machine optimized by quantum genetic algorithm. **IEEE Access**, v 6, p 33583-33588, 2018.