

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E TRANSPORTES

PRÁTICA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO 4 - ENG09073

**MODELO DE AVALIAÇÃO DA MATURIDADE 4.0 APLICADO EM UMA
FÁBRICA DO SETOR METAL-MECÂNICO**

ANDERSON VINICIUS KNOEDLER FARIAS

Professor: Flavio Sanson Fogliatto

Orientador: Alejandro Germán Frank

Coorientador: Verônica Maurer Tabim

Porto Alegre, março de 2023

Sumário

1. Introdução	3
2. Referencial Teórico	4
2.1. Contextualização da Indústria 4.0.....	4
2.2. Modelos de Maturidade de Indústria 4.0	6
2.2.1 Modelo da NEO UFRGS	6
2.2.2 Modelo ACATECH	6
2.3. Desafios de Produtividade Relacionados a Smart Manufacturing.....	8
2.3. A organização	9
3. Procedimentos Metodológicos	12
3.1. Classificação da pesquisa	12
3.2. Etapas do trabalho	12
4. Resultados e Discussão	13
4.1. Modelo de maturidade EngineeringCo	13
4.2.2 Escalas dos níveis de maturidade.....	15
4.3.1 Célula Tulipa D.....	19
4.3.2 Célula Tulipa G.....	22
4.3.3 Índice Médio de Maturidade.....	24
5. Conclusões.....	26
6. Referências.....	26

1. Introdução

Existe um interesse crescente no conceito de indústria 4.0 (Chiarello et al., 2018). O conceito surgiu originalmente em 2011 na Alemanha, como referência a ideia de uma quarta revolução industrial centrada na manufatura inteligente (Kagermann et al., 2013). A indústria 4.0 é composta por diversas tecnologias como Internet das Coisas (IoT), serviços em nuvem, big data e Inteligência Artificial (AI) para criar um sistema ciberfísico (ou CPS, na sigla em inglês para Cyber-Physical Systems) e segue um roteiro de digitalização (Kagermann et al., 2013; Wang et al., 2015). Estas tecnologias tem grande potencial de aumentar a produtividade de indústrias e gerar vantagem competitiva para as mesmas, o que tem gerado nas empresas interesse de aplicação do conceito (Frank et al., 2019). Pesquisas anteriores mostraram que um dos primeiros passos das empresas manufatureiras que visam implementar a Indústria 4.0 é a aplicação de um modelo de avaliação de maturidade, para apenas depois então definir um *roadmap* no que faça sentido para a empresa de acordo com seus objetivos (Pacchini et al., 2019; Schumacher et al., 2016). Portanto, a implementação dos conceitos da Indústria 4.0 requer uma avaliação dessas dimensões e um planejamento orientado à definição das dimensões estratégicas que as empresas precisam priorizar (Frank et al., 2019).

Embora já se saiba a importância de realizar esse diagnóstico da empresa e da realização de um plano detalhado, ainda existem casos de empresas que deram errado nesse contexto. Vários modelos de maturidade já foram propostos (e.g. Schuh et al., 2017; Schumacher et al., 2016); entretanto, estes modelos são abrangentes, e enquanto alguns focam na criação de um sistema ciberfísico (Schuh et al., 2020) outros também dão foco a tecnologias de ponta como realidade aumentada, manufatura aditiva e robotização (Frank et al., 2019). Os modelos também requerem adaptação para os objetivos específicos que a organização quer alcançar ou quais irá priorizar, e estes são variados: desde aumento de produtividade a segurança dos trabalhadores (Schuh et al., 2020).

Portanto, algumas tensões potenciais aparecem tanto na prática quanto na teoria. Do ponto de vista teórico, a Indústria 4.0 deve seguir um roteiro claro de implementação de tecnologias baseado na maturidade atual da fábrica e que faça sentido aos objetivos estratégicos da organização, porém na prática isso muitas vezes parece não acontecer devido aos problemas anteriormente mencionados. Além disso, é necessário desenvolver a implementação tecnológica em cada dimensão de forma planejada e alinhada com o contexto da empresa, as necessidades e particularidades do seu processo produtivo, sendo a jornada 4.0 um projeto específico para a realidade de cada empresa. Para isso, o presente trabalho visa

responder a seguinte questão de pesquisa: Qual o modelo de avaliação da maturidade de indústria 4.0 mais adequado para uma fábrica brasileira do setor metal-mecânico?

Logo, o objetivo da pesquisa é, por meio de pesquisa bibliográfica e uma pesquisa-ação, aplicar um modelo de maturidade para uma fábrica do setor metal mecânico localizada no Brasil que já mostrou interesse no tema, e realizar o diagnóstico quanto a maturidade tecnológica em Indústria 4.0 dos processos desta fábrica. Para isso foi feito uma pesquisa bibliográfica sobre o que é considerado Indústria 4.0, suas bases em termos tecnológicos, escolhido um modelo de maturidade para ser adaptado ao contexto da empresa estudada.

2. Referencial Teórico

2.1. Contextualização da Indústria 4.0

Desde sua concepção em 2011, a Indústria 4.0 tem desenvolvido uma nova perspectiva em tecnologias avançadas e conectadas para aplicações industriais. A Indústria 4.0 é considerada uma das principais tendências industriais atuais tanto em países desenvolvidos como em desenvolvimento. O termo refere-se à quarta revolução industrial, que prossegue revoluções tecnológicas anteriores como a introdução da máquina de vapor (1° Revolução), a introdução da eletricidade (2° Revolução), e a introdução dos sistemas de informação e automação industrial (3° Revolução). Neste novo estágio industrial, destaca-se a introdução da conectividade mediante a Internet das Coisas (*Internet of Things* ou IoT). A IoT viabiliza a implementação de sistemas ciberfísicos, uma integração do mundo real com o mundo virtual através da digitalização da fábrica e a introdução de sensores e componentes que permitem a comunicação entre equipamentos, objetos e pessoas. (Frank et al., 2019)

Dessa maneira, pode-se considerar que a Indústria 4.0 representa um novo patamar industrial, em que as empresas competirão a partir de uma base tecnológica digital, com manufatura e produtos inteligentes conectados e que habilitam novas formas de tratamento de dados e novas estratégias de negócio. Conforme apresentado na Figura 1, este processo de transformação digital na indústria tem sido apoiado pela implementação de quatro tecnologias de base: internet das coisas (IoT), Computação em Nuvem, *Big Data*, e *Analytics*/Inteligência Artificial (IA). Os estudos de Frank et al. (2019) indicam que estas tecnologias, junto com outras emergentes tais como manufatura aditiva, simulação, etc., abrem oportunidades em quatro dimensões que compõem a Indústria 4.0: *Smart Manufacturing*, *Smart Supply Chain*, *Smart Working*, e *Smart Products and Services* (Figura 1) (Meindl et al., 2021).

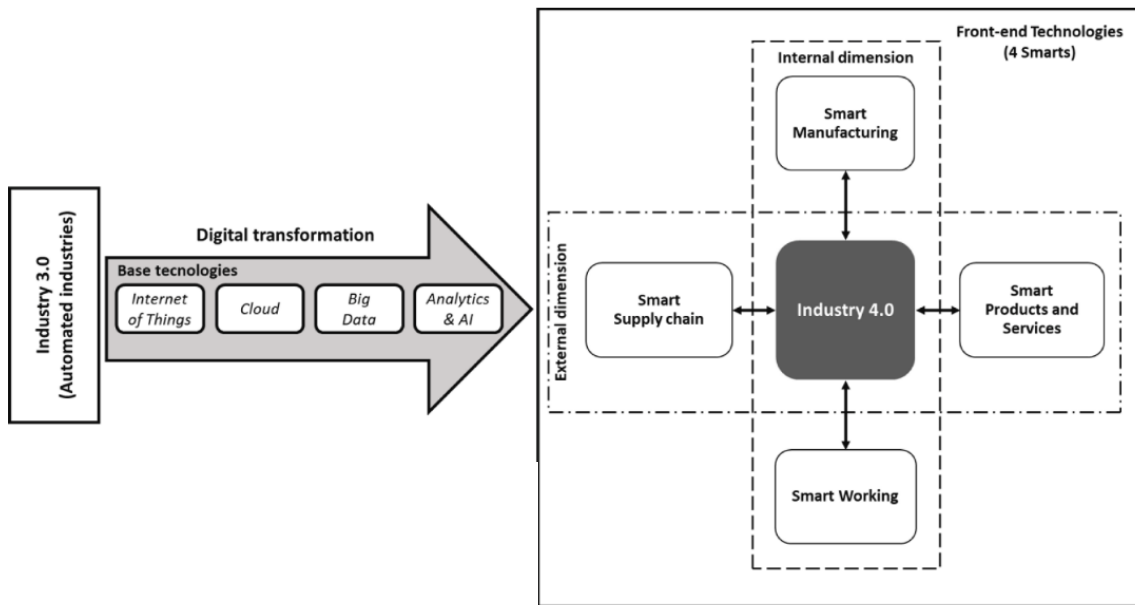


Figura 1: Modelo Conceitual dos Quatro Smarts da Indústria 4.0
Fonte: Frank et al. (2019)

A dimensão *Smart Manufacturing* compreende o uso de tecnologias avançadas no chão de fábrica até alcançar sistemas de manufatura ciberfísicos. Em seguida, a dimensão *Smart Supply Chain* considera o suporte das tecnologias para melhorar os fluxos de informações ao longo da cadeia de suprimentos. Já a dimensão *Smart Working*, considera a forma como as tecnologias são utilizadas para apoiar os trabalhadores na tomada de decisão, gerenciamento do conhecimento, fomento à criatividade e o design, e aumento da segurança. E por fim, a dimensão *Smart Products and Services* considera a adição de inteligência e conectividade via IoT aos equipamentos e produtos oferecidos ao mercado. (Meindl et al., 2021).

Olhando pela perspectiva da dimensão *Smart Manufacturing*, em que as empresas buscam implementar conceitos da Indústria 4.0, alguns estudiosos afirmam que há necessidade de um processo de implementação gradual e evolutivo das tecnologias, uma vez que a maioria das empresas estão concentradas principalmente no primeiro estágio que visa a integração vertical (Tabim et al., 2021). Além disso, de acordo com a pesquisa ABIMAQ 2021, as empresas precisam pensar na Indústria 4.0 desde um ponto de vista estratégico, incluindo aspectos tais como o da servitização dos produtos e o desenvolvimento de uma estrutura organizacional que contribua para o desenvolvimento de novos modelos de negócios. Portanto, se apresenta às empresas o desafio de avaliarem o grau de maturidade do negócio na implementação desses projetos em Indústria 4.0. Para então, a partir desta avaliação, caminharem no sentido da

evolução tecnológica e perceberem quanto a adoção ou não destas tecnologias impactam o negócio.

2.2. Modelos de Maturidade de Indústria 4.0

Abordagens estruturais, como modelos de maturidade (MMs) ou *frameworks*, visam auxiliar as organizações, fornecendo orientação abrangente e apresentando um *roadmap* (Gökalp et al. 2017). De acordo com Garcia et al. (1997), um *roadmap* é um “plano que combina metas de curto e longo prazo com soluções tecnológicas específicas para ajudar a atingir esses objetivos”. Os modelos de maturidade são modelos que ajudam uma organização ou um indivíduo a alcançar um nível de maturidade mais sofisticado (ou seja, habilidade) em pessoas, cultura, processos, estruturas e/ou tecnologias seguindo um processo de melhoria contínua passo a passo (Mettler 2011). Ou seja, definindo-se os níveis de maturidade e quais as capacidades necessárias para alcançar cada nível, o modelo avalia onde a empresa está no momento e visualiza o que está em falta na organização para ela alcançar o próximo passo.

2.2.1 Modelo da NEO UFRGS

O modelo da NEO-UFRG, desenvolvido em parceria com a ONU e o Ministério da Economia do Brasil faz uma avaliação do nível de maturidade da automação da empresa e de cada um dos quatro *smarts* anteriormente explicados para a mesma. O que são avaliados neste modelo são os processos produtivos da empresa, e para avaliar a maturidade destes processos o estudo usa o conceito de desafios produtivos para definir os níveis de maturidade de cada um dos processos produtivos da empresa. Estes desafios produtivos estão relacionados aos quatro *smarts*, podendo cada um dos *smarts* ter múltiplos desafios produtivos. Além disso os estágios de desenvolvimento do modelo da ACATECH são utilizados para definir os níveis de maturidade, indo de 1 a 6 da mesma forma que o estudo da ACATECH (NEO & ME, 2022).

2.2.2 Modelo ACATECH

O modelo desenvolvido pela ACATECH (Academia Nacional de Ciências e Engenharia da Alemanha) foi originalmente desenvolvido em 2017, denominado *Industrie 4.0 Maturity Index: Managing the Digital Transformation of Companies*. O modelo tem como objetivo final tornar a empresa uma organização ágil e de aprendizado, capaz de se adaptar continuamente e tomar decisões rápidas em um ambiente disruptivo (Schuh et al., 2020). Assim, foca-se em quatro perspectivas-chave ou áreas estruturais da organização, e cada uma destas perspectivas-chave abrange dois princípios fundamentais:

1. Recursos: Os recursos representam as máquinas, equipamentos, ferramentas, materiais, produtos e os recursos humanos. Tem como princípios capacidade digital e comunicação estruturada;
2. Sistemas de Informação: Os sistemas de informação (SI) são os sistemas de geração e fornecimento de informações e conhecimento. Tem como princípios processamento de informação e integração dos sistemas de informação;
3. Estrutura Organizacional: A estrutura organizacional (EO) descreve as regras e estruturas necessárias para a organização interna da empresa (processos estruturais e operacionais), e para a organização externa (posição dentro da cadeia de valor) Tem como princípios organização interna orgânica e colaboração dinâmica dentro da rede de valor;
4. Cultura Organizacional: E por fim, a cultura abrange o sistema de valor dentro da empresa e é amplamente determinada pelo comportamento dos colaboradores. Tem como princípios disposição a mudança e colaboração social.

Em cada uma das áreas estruturais são discutidas as capacidades necessárias para o negócio. O modelo sugere que as empresas usem o modelo da ACATECH como base para desenvolver um roteiro próprio com capacidades que sejam apropriadas as situações correntes da empresa e aos seus objetivos estratégicos. A partir destas capacidades, cada área estrutural é então avaliada individualmente por meio de seis níveis de maturidade conforme a Figura 2. Estes níveis são: (1) Informatização; (2) Conectividade; (3) Visibilidade; (4) Transparência; (5) Capacidade Preditiva; e (6) Adaptabilidade (Schuh et al., 2020).

No nível 1 (Informatização) as empresas começam a utilizar computadores e automação para substituir os processos manuais, como sensores simples ou sistemas básicos de automação para melhorar a eficiência e a produtividade. Já no nível 2 (Conectividade) as empresas começam a conectar seus sistemas e processos para criar um ambiente de produção mais integrado e eficiente. A partir do estágio 3 (Visibilidade): é começada a utilização de dados para obter insights sobre processos de produção e ferramentas de análise e visualização de dados para monitorar o desempenho e identificar áreas de melhoria. No nível 4 (Transparência) as empresas começam a compartilhar dados e informações em toda a organização e com parceiros e clientes. A partir do nível 5 (Capacidade Preditiva) começasse a utilizar análises avançadas e inteligência artificial, algoritmos de aprendizado de máquina, para prever eventos futuros e otimizar seus processos de produção. No último nível Adaptabilidade as empresas se tornam mais ágeis e responsivas às mudanças nas condições do mercado e nas necessidades dos clientes, elas podem usar análises avançadas e inteligência artificial para otimizar seus processos de produção e melhorar a qualidade e a personalização do produto (Schuh et al., 2020).

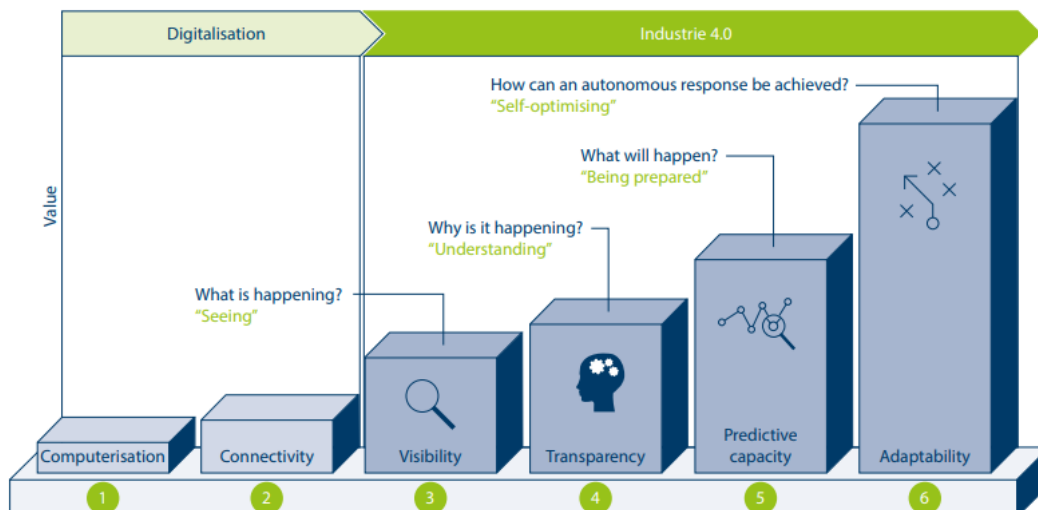


Figura 2: Estágios de desenvolvimento da Indústria 4.0
Fonte: Schuh et al. (2020)

2.3. Desafios de Produtividade Relacionados a Smart Manufacturing

A dimensão de Smart Manufacturing possui *drivers* importantes para a avaliação, os quais foram denominados neste trabalho como desafios de produtividade. Os desafios de produtividade foram originalmente propostos no estudo sobre transformação digital desenvolvido pelo NEO-UFRGS para o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) (NEO & ME, 2022), e ampliados no contexto do presente trabalho. Suas descrições são detalhadas conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Descrições dos desafios de produtividade de Smart Manufacturing

Fonte: NEO & ME (2022)

	Desafios de produtividade	Descrições
Smart Manufacturing	Automação da produção	Automação das máquinas e equipamentos da produção.
	Programação da produção	Forma como as ordens de produção são planejadas.
	Gestão da produção	Forma como os indicadores são criados e utilizados.
	Inspeção da qualidade	Forma como a inspeção da qualidade na linha de produção é realizada.
	Manutenção reativa	Forma como os problemas de manutenção são comunicados e corrigidos.
	Manutenção planejada	Forma como é realizado o planejamento da manutenção.

2.3. A organização

A empresa em que o trabalho foi realizado, EngineeringCo, é uma multinacional originária da Inglaterra. Ela está situada no setor metalmeccânico e se divide em três divisões, cada uma atuando em um ramo distinto: o ramo automotivo, o aeroespacial, e a produção de componentes sinterizados. O ramo automotivo é maior das divisões com mais de 50 plantas em mais de 20 países, e é divisão em que se encontra a planta de Porto Alegre onde o estudo foi realizado. A EngineeringCo vende seus produtos para grande parte do mercado automotivo, atuando no mercado original (OEM – *Original Equipment Market*), de revenda (OES – *Original Equipment Service*) e exportação, incluindo outras plantas da empresa (venda *line company*). A planta de Porto Alegre é a principal fornece para grande parte das marcas de veículos de passeio da indústria automotiva situadas no Brasil.

Dentro do ramo automotivo, a principal atividade da EngineeringCo é a produção de conjuntos e componentes de semieixos ou transmissões homocinéticos, que fazem parte do sistema de transmissão de veículos automotivos e são responsáveis por transmitir o torque do motor para as rodas do veículo nos momentos em que o motorista gira o volante para a direita ou a esquerda. O semieixo é montado a partir de três estruturas principais: o eixo, a junta deslizante e a junta fixa. A figura 3 a seguir demonstra a divisão destes componentes em seus subcomponentes. A EngineeringCo fabrica boa parte dos componentes de seus semieixos.

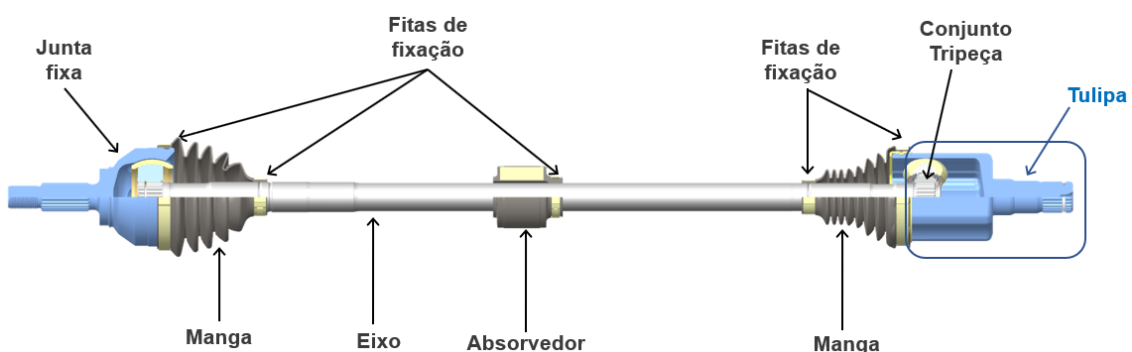


Figura 3: Estágios de desenvolvimento da Indústria 4.0
Fonte: EngineeringCo (2023)

A planta de Porto Alegre se divide em quatro unidades de fluxo de valor (*value streams*), também conhecidas internamente como mini fábricas: unidade de manufatura de juntas deslizantes (UMJD), unidade de manufatura de juntas fixas (UMJF), unidade de manufatura de

componentes (UMC) e unidade de manufatura de montagem (UMM). O eixo, uma das três estruturas principais, é produzido por outra planta da EngineeringCo localizada em outra cidade próxima. A UMM é unidade que realiza a montagem do produto final, o semieixo, que é composto por três elementos principais: junta deslizante, junta fixa e eixo. A UMC é onde são fabricadas alguns dos subcomponentes que servirão para a montagem das juntas fixas e deslizantes, seus produtos são: a gaiola, o anel interno R (AIR) e a tripeça. A UMJF fabrica a ponta de eixo e realiza a montagem da junta fixa, parte que provê o ângulo de articulação do semieixo. Já a UMJD fabrica as juntas deslizantes, que tem o papel de acompanhar o movimento de suspensão do automóvel. Há três tipos de junta deslizante: monobloco, junta VL e tulipa, sendo a último o tipo mais comum por ser a opção mais econômica e usada em carros mais populares. A monobloco e a junta VL são compostas por gaiola, anel interno V (AIV), esferas e forjado de monobloco (no caso da junta monobloco) ou anel externo V (no caso da junta VL). A tulipa não requer montagem: trata-se apenas da tulipa após a mesma passar por todos os processos de fabricação.

O presente estudo foi realizado considerando o processo da tulipa, pois atualmente é o gargalo da produção da fábrica. Ou seja, é o processo que limita o aumento de produção de semieixos. Outra razão para a escolha é que dentro da tulipa existem células com níveis tecnológicos diferentes, o que poderia enriquecer a análise. Essa decisão foi tomada em conjunto com os gestores entrevistados.

O processo de fabricação da tulipa se dá como na figura 4. A primeira etapa é o torneamento, em que é usinada a haste e o *spline* da tulipa. Em seguida a mesma é levada para o processo de laminação para gerar os entalhos do *spline*. Após isso um robô pega a peça na esteira e descarrega a peça no tratamento térmico (na haste e no sino da tulipa), a peça então sai do tratamento por uma esteira onde em seguida é realizada uma inspeção manual de todas as peças que passam por esta esteira. A peça sendo considerada boa, ela é liberada para ser então carregada por um robô que leva para operação magnateste (verificação se peça tem têmpera), e em seguida para marcação (em que são marcados dados como número da peça, turno em que foi feita e aço utilizado). O mesmo robô descarrega a peça no processo de retificação (processo que reduz rugosidade superficial da peça). Após a retificação é feita outra inspeção manual de todas as peças que passam para verificar se a retificação foi feita adequadamente. Em seguida todas as peças passam por outra inspeção para verificar se há trincas. Caso não haja, a peça passa por um processo de desmagnetização e em seguida pela oleadeira, última etapa em que após finaliza a peça é liberada para embalagem.

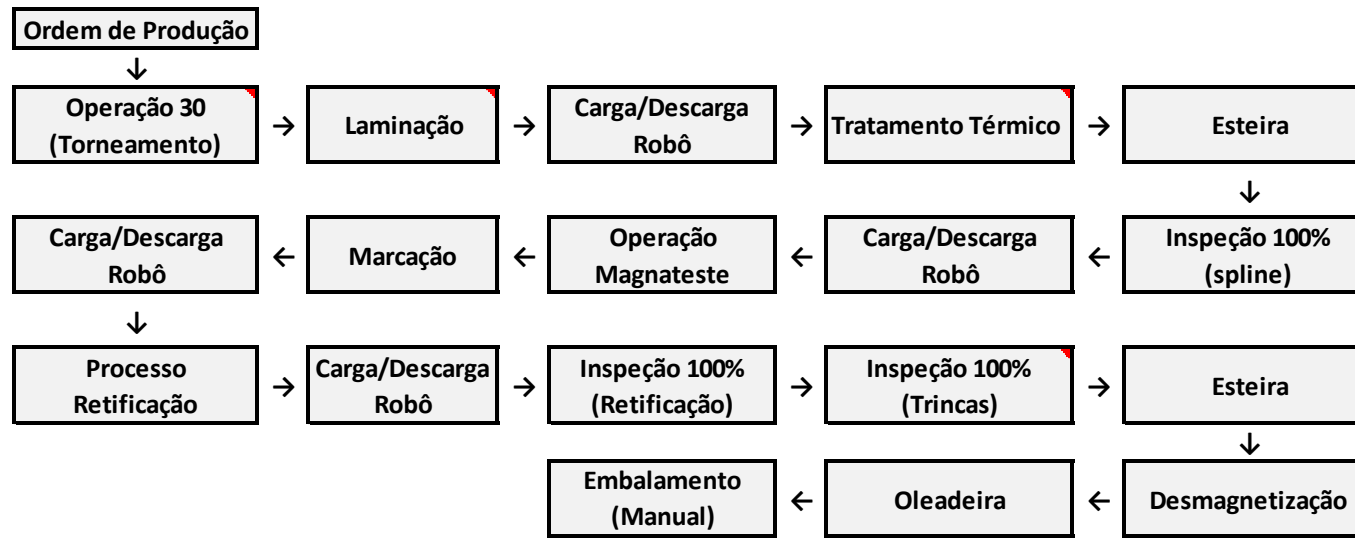


Figura 4: Processo completo de fabricação das células de Tulipa na EngineeringCo

Fonte: O autor

3. Procedimentos Metodológicos

3.1. Classificação da pesquisa

Este trabalho é de natureza aplicada, ou seja, gera conhecimentos para aplicações práticas a solução de problemas, envolvendo interesses reais (Silva, 2003). Em relação aos objetivos, este trabalho tem um caráter descritivo, pois, observa, registra e analisa fatos, indicando a relação entre as variáveis. Gil (1999) define pesquisa descritiva como aquela que visa descobrir a existência de associações entre variáveis. Quanto à abordagem, esta pesquisa caracteriza-se como qualitativa, devido ao ambiente natural ser a fonte direta para a coleta de dados, interpretação de fenômenos e atribuição de significados. Quanto ao tipo de pesquisa ela é classificada como pesquisa-ação, pois será uma pesquisa trabalhada em conjunto com a empresa, com o objetivo de elucidar a maturidade da mesma e dar suporte na tomada de decisões da empresa (Yin, 2012).

3.2. Etapas do trabalho

Para desenvolvimento desta pesquisa, cujo objetivo está relacionado ao desenvolvimento e aplicação de um modelo de maturidade da indústria 4.0 para avaliação de uma fábrica brasileira do setor metal-mecânico, foi adotada uma metodologia que se divide em três etapas.

Na primeira etapa, foi realizada uma pesquisa bibliográfica com objetivo de adquirir o conhecimento relacionado ao tema central do trabalho e suas particularidades, objetivando a criação de um alicerce conceitual por meio de uma revisão da literatura para aplicação no estudo. Desta forma, este estudo permitirá conhecer os principais conceitos relacionados a determinado tópico da ciência, como também suas principais direções futuras, baseadas nas pesquisas mais recentes. Assim, foi realizado o levantamento de modelos de maturidade existentes na literatura acadêmica e profissional (consultoras reconhecidas) a fim de identificar elementos úteis para a realidade da empresa.

Em seguida, na segunda etapa, foi realizada a construção de um modelo de maturidade próprio para um dos processos da empresa para empresa considerando o levantamento de modelos de maturidade existentes na literatura, realizado na etapa 1 deste trabalho. Para isso, também foram realizadas entrevistas com os principais responsáveis do processo escolhido para a compreensão dos processos e das necessidades produtivas. Assim, foi possível desenvolver um modelo de maturidade que atendesse as especificidades e requisitos da empresa sendo estudada.

Na terceira etapa e última etapa, foi feita a aplicação do modelo desenvolvido na segunda etapa, em que os níveis de maturidade foram desdobrados para cada um dos principais processos da empresa. Para cada grau de maturidade atual foram indicadas razões para estar no nível de maturidade e oportunidades para progredir a etapas mais avançadas de maturidade tecnológica que se alinhem com os objetivos estratégicos e operacionais.

4. Resultados e Discussão

4.1. Modelo de maturidade EngineeringCo

O modelo de maturidade da EngineeringCo foi elaborado com base em modelos de maturidade vistos na literatura (vide seção 2). O estudo que norteou as dimensões da Indústria 4.0 avaliadas foi o de Frank et al. (2019) que apresenta os Smarts da Indústria 4.0. Dentre os quatro Smarts estudados, foi considerado para a avaliação da maturidade das células Tulipa D e Tulipa G da EngineeringCo o *Smart Manufacturing*. A escolha de apenas avaliar a dimensão *Smart Manufacturing* se deu devido a necessidade de reduzir o escopo da pesquisa por questões de tempo. A escolha desta dimensão em particular é em razão enraizada na manufatura avançada, ou seja, um sistema adaptável onde flexível em que linhas ajustam automaticamente os processos de produção para vários tipos de produtos e condições variáveis. A Manufatura Inteligente considera tecnologias para o processamento do produto (sistema de produção). Portanto, assumimos que a Manufatura Inteligente é o início e o primeiro objetivo da Indústria 4.0. Os outros são extensões (Meindl et al., 2021).

Em relação as interfaces especificamente analisadas no Smart Manufacturing, selecionou-se o estudo realizado pelo NEO-UFRGS em parceria com a ONU e o Ministério da Economia (NEO & ME, 2022), que apresentou os principais desafios de produtividade das indústrias. Os desafios de produtividade puderam ser relacionados ao Smart Manufacturing, trazendo maior clareza sobre cada um dos itens que seriam avaliados pela ferramenta. Por fim, para criar a estrutura que compõe os níveis de maturidade, foi adaptado o estudo amplamente utilizado pelo mundo da Acatech (Schuh et al., 2020). Este estudo foi selecionado principalmente para trazer uma visão de avanço de maturidade que é utilizada por empresas do mundo inteiro possibilitando que a EngineeringCo realize comparações posteriores de seus avanços na Indústria 4.0.

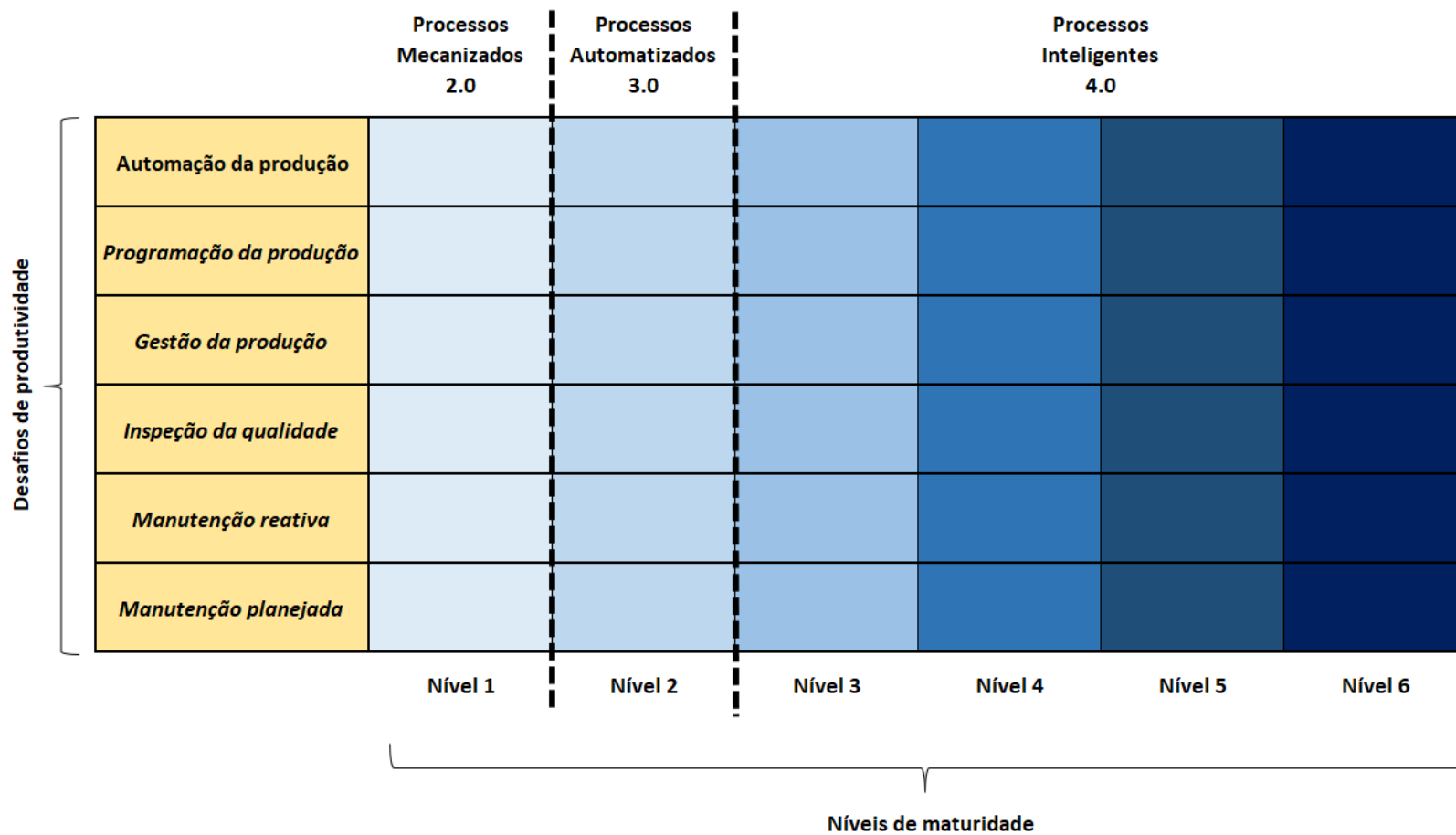


Figura 5: Estrutura do modelo de avaliação da maturidade do EngineeringCo

Fonte: O autor

4.2.2 Escalas dos níveis de maturidade

Para cada um dos desafios de produtividade, foi elaborada uma escala que compreende os requisitos necessários para atingir seis níveis evolutivos de maturidade. A seguir são apresentadas as escalas de cada um dos desafios de produtividade, bem como exemplos de tecnologias para cada um dos níveis. O Nível 1 de maturidade para todos os desafios está relacionado ao processamento mecanizado, em que são necessárias ações manuais para executar a produção. O Nível 2 se relaciona ao processamento mecanizado e automatizado, sendo complementado com ações manuais para a execução dos desafios de produtividade listados. A partir do Nível 3 até o Nível 6 consideram-se operações inteligente, complementadas com diferentes níveis de inteligência digital para atender a cada um dos desafios de produtividade listados.

Automação da produção: A Tabela 2 apresenta a descrição de cada um dos níveis de maturidade relacionados aos desafios de produtividade de automação da produção. Especificamente para esse desafio de produtividade, foi utilizado como métrica de evolução a porcentagem de máquinas e equipamentos que contém essas tecnologias. As principais tecnologias que estão envolvidas nesse desafio de produtividade são soluções de mecanização da produção e sensoriamento.

Tabela 2: Escala de maturidade para Automação da produção
Fonte: NEO & ME (2022)

Nível 1	Operações são predominantemente executadas de forma manual
Nível 2	Operações são predominantemente executadas de forma mecanizada (máquinas e infraestruturas operadas por trabalhadores)
Nível 3	Poucas máquinas são controladas através de automação (aproximadamente 25%)
Nível 4	Algumas máquinas são controladas através de automação (aproximadamente 50%)
Nível 5	Várias máquinas são controladas através de automação (aproximadamente 75%)
Nível 6	Todas as máquinas são controladas através de automação (aproximadamente 100%)

Programação da produção: A Tabela 3 apresenta a descrição de cada um dos níveis de maturidade relacionados aos desafios de produtividade da programação. Para este desafio produtivo, algumas tecnologias como sistemas de informação, sensores, inteligência artificial (IA) podem ser consideradas. A partir do nível 3, em processos inteligentes, um exemplo de

tecnologia é a utilização de um sistema MRP. Para o Nível 4, utilização de um sistema APS, para sequenciamento fino da produção. No nível 5, tecnologias como IoT ou sensores integrados ao MES e ao APS. E para o Nível 6 uma solução com IoT ou sensores integrados ao MES e ao APS com IA e Digital Twin.

Tabela 3: Escala de maturidade para Programação da produção
Fonte: NEO & ME (2022)

Nível 1	Operações são predominantemente executadas de forma manual
Nível 2	A programação é realizada apenas manualmente através da utilização de planilhas eletrônicas e baseada em conhecimento empírico.
Nível 3	A programação é realizada com auxílio de um sistema, porém a sequência se baseia apenas em conhecimento empírico.
Nível 4	A programação é realizada com auxílio de um sistema baseado em algoritmos de otimização, porém usando apenas tempos médios de operação.
Nível 5	A programação é realizada com auxílio de um sistema baseado em algoritmos de otimização, usando tempos de operação obtidos em tempo real.
Nível 6	A programação é realizada com auxílio de um sistema baseado em algoritmos de otimização, usando tempos de operação obtidos em tempo real. Os equipamentos são integrados ao sistema e a produção é ajustada automaticamente. A programação também pode ser apoiada por simulação.

Gestão da produção: Para gestão da produção, a métrica de evolução utilizada foi a utilização ou não de sistemas MES (*Manufacturing Execution System*). As principais tecnologias são a implantação de sistema MES soluções de sensoriamento. A partir do nível 4 considera-se a utilização de captação de dados de forma inteligente com auxílio de sensores. Já no nível 5, considera-se esse contexto somado a integração de sistemas. Na sequência, no nível 6, utilização de sensores e um sistema de supervisão e aquisição de dados (SCADA) integrados ao MES e Digital Twin. A Tabela 4 apresenta a descrição de cada um dos níveis de maturidade relacionados aos desafios de produtividade da programação.

Tabela 4: Escala de maturidade para Gestão da produção
Fonte: NEO & ME (2022)

Nível 1	Operações são predominantemente executadas de forma manual
Nível 2	Os indicadores se baseiam em dados coletados manualmente e compilados em planilhas eletrônicas.
Nível 3	Os indicadores se baseiam em dados coletados por sensores nas máquinas e compilados em planilhas eletrônicas.
Nível 4	Os indicadores se baseiam em dados coletados por sensores nas máquinas e são analisados em sistemas individuais.
Nível 5	Os indicadores se baseiam em dados coletados por sensores nas máquinas e são analisados de forma conjunta em sistemas integrados.
Nível 6	Os indicadores se baseiam em dados coletados por sensores nas máquinas e são analisados de forma conjunta em sistemas integrados que são capazes de indicar cenários futuros.

Inspeção da qualidade: A Tabela 5 apresenta a descrição de cada um dos níveis de maturidade relacionados aos desafios de produtividade de automação da produção. Especificamente para esse desafio de produtividade, foi utilizado como métrica a mecanização dos processos de inspeção de qualidade como nível mais baixo. As principais tecnologias que estão envolvidas nesse desafio de produtividade são sistemas, *Machine vision*, *Smart glasses* ou *Smart sensors* e IA. Para o nível 3, um exemplo de tecnologia é o uso do sistema ERP como suporte, para o nível 4, utilização de um sistema MES com coleta automática de dados por sensores, além de *Machine vision*, *Smart glasses* ou *Smart sensors*. Para o nível 5, utilização de *Machine vision*, *Smart glasses* ou *Smart sensors* em conjunto com IA analítica. Para o nível 6, utilização de *Machine vision*, *Smart glasses* ou *Smart sensors* em conjunto com IA decisória.

Tabela 5: Escala de maturidade para Inspeção da qualidade
Fonte: NEO & ME (2022)

Nível 1	Operações são predominantemente executadas de forma manual
Nível 2	A inspeção de qualidade é realizada de forma manual e apontada em checklists manuais.
Nível 3	A inspeção de qualidade é realizada de forma manual e apontada em checklists digitais.
Nível 4	A inspeção de qualidade é realizada de forma automática através de sensores e tecnologias afins e apontada em checklists digitais.
Nível 5	A inspeção de qualidade é realizada de forma automática através de sensores e tecnologias afins e apontada em checklists digitais. O sistema é capaz de apontar a causa raiz do problema de qualidade.
Nível 6	A inspeção de qualidade é realizada de forma automática através de sensores e tecnologias afins e apontada em checklists digitais. O sistema é capaz de apontar a causa raiz do problema de qualidade e o equipamento é capaz de se ajustar de forma autônoma.

Manutenção Reativa: Para manutenção reativa as principais métricas sensores de detecção e automação dos chamados de manutenção. As principais tecnologias que estão envolvidas nesse desafio de produtividade são sistemas, sensores e IA. A partir do nível 3, um exemplo de tecnologia é o uso do sistema ERP como suporte de checklists. Para o nível 4, utilização de sistemas de monitoramento de manutenção IoT. Para o nível 5, utilização de Sistemas de manutenção IoT em conjunto com IA analítica básica. Para o nível 6, utilização de sistemas de manutenção IoT em conjunto com IA analítica avançada. A Tabela 6 apresenta a descrição de cada um dos níveis de maturidade relacionados aos desafios de produtividade.

Tabela 6: Escala de maturidade para Automação da produção
Fonte: NEO & ME (2022)

Nível 1	Operações são predominantemente executadas de forma manual
Nível 2	Quando a falha acontece, o operador aciona o técnico de manutenção via telefone ou pessoalmente.
Nível 3	Quando a falha acontece, o operador da linha aponta manualmente as paradas não previstas no sistema e o técnico de manutenção recebe um alerta para realizar a manutenção.
Nível 4	Quando a falha acontece, sensores a detectam, apontam a paradas não previstas automaticamente no sistema e o técnico de manutenção recebe um alerta para realizar a manutenção.
Nível 5	Quando a falha acontece, sensores a detectam, apontam a paradas não previstas automaticamente no sistema e o técnico de manutenção recebe um alerta para realizar a manutenção, junto com a indicação da causa raiz do problema com base no histórico.
Nível 6	Quando a falha acontece, sensores a detectam, apontam a paradas não previstas automaticamente no sistema e o técnico de manutenção recebe um alerta para realizar a manutenção, junto com a indicação da causa raiz do problema e instruções de como realizar a manutenção.

Manutenção Planejada: A Tabela 7 apresenta a descrição de cada um dos níveis de maturidade relacionados aos desafios de produtividade de Manutenção Planejada. Especificamente para esse desafio de produtividade, foi utilizado como é captado dados para prever quando devem ocorrer as próximas manutenções. As principais tecnologias que estão envolvidas nesse desafio de produtividade são sensores para coleta de parâmetros dos equipamentos. Para o nível 4, utilização de sensores de monitoramento que com o apoio de IoT abastece os sistemas de apoio. A partir do nível 5, estes sistemas de manutenção são apoiados por IA para prever quando devem acontecer as próximas manutenções. No nível 6, a IA é capaz também de prescrever as ações a serem tomadas.

Tabela 7: Escala de maturidade para Automação da produção
Fonte: NEO & ME (2022)

Nível 1	Operações são predominantemente executadas de forma manual
Nível 2	O planejamento da manutenção é realizado empiricamente com base em calendários de manutenções anteriores e médias dadas por fornecedores.
Nível 3	O planejamento da manutenção ainda é realizado empiricamente, porém estas informações abastecem sistemas de apoio que geram alertas.
Nível 4	O planejamento da manutenção é apoiado em sensores que coletam o número de utilizações dos equipamentos e abastecem sistemas de apoio gerando alertas automáticos.
Nível 5	O planejamento da manutenção é apoiado em sensores que coletam parâmetros dos equipamentos e abastecem sistemas de apoio que utilizam IA para prever manutenções.
Nível 6	O planejamento da manutenção é apoiado em sensores que coletam parâmetros dos equipamentos e abastecem sistemas de apoio que utilizam IA para prever manutenções e prescrever ações a serem tomadas.

4.3 Avaliação da maturidade das células Tulipa D e Tulipa G da EngineeringCo

O processo de avaliação da maturidade foi desenvolvido de forma iterativa mediante informações coletadas in loco e por meio de entrevistas com os diferentes colaboradores da EngineeringCo envolvidos nas operações (operadores, técnicos e gestores). O processo de avaliação foi realizado em parceria com todas as equipes das fábricas das duas células, Tulipa D e Tulipa G. Toda a avaliação realizada foi validada pelo líder de fluxo do processo de tulipa da EngineeringCo. Com isso, buscou-se refinar as avaliações e entregar um diagnóstico do nível de maturidade que seja realmente perceptível pela equipe envolvida.

Seguindo as estruturas previamente apresentadas na subseção de “Modelo de maturidade da EngineeringCo”, cada uma das células foi avaliada com base no nível de maturidade do processo. A Figura 6 apresenta o processo de avaliação. Cada um dos processos foi avaliado considerando os desafios de produtividade anteriormente apresentados. Primeiramente, foi definido o nível de maturidade que a empresa se encontra atualmente para cada desafio produtivo. Após a definição o nível, foi justificado o porquê a célula avaliada (Tulipa D ou Tulipa G) foi considerada neste nível. Em seguida, foi determinado o que falta para esta célula avançar para o próximo nível. Por fim, foram descritos os benefícios que a célula irá obter avançando na escala de maturidade.

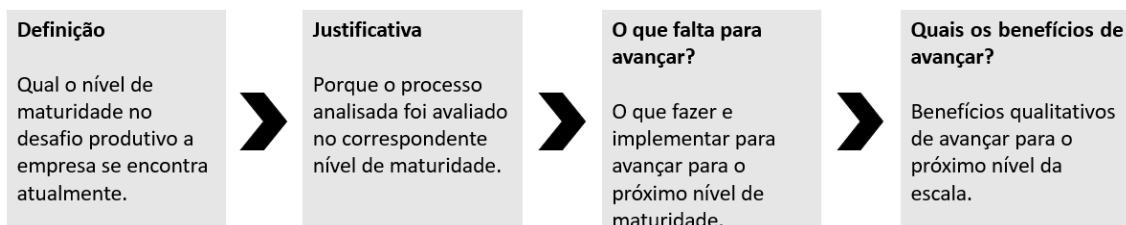


Figura 6: Processo de avaliação da maturidade dos processos

Fonte: O autor

4.3.1 Célula Tulipa D

A seguir será apresentada uma análise por desafio produtivo com objetivo de realizar uma visão aprofundada desta avaliação. Na Tabela 8 se apresentam os resultados desdobrados para a célula Tulipa D da EngineeringCo. Posteriormente, são discutidas as oportunidades identificadas a partir desses resultados relatados.

Tabela 8: Descrição da célula Tulipa D da EngineeringCo

Desafio	Nível	Descrição
Automação da produção	4	Algumas máquinas são controladas através de automação (aproximadamente 50%)
Programação da produção	2	A programação é realizada apenas manualmente através da utilização de planilhas eletrônicas e baseada em conhecimento empírico.
Gestão da produção	2	Os indicadores se baseiam em dados coletados manualmente e compilados em planilhas eletrônicas.
Inspeção da qualidade	2	A inspeção de qualidade é realizada de forma manual e apontada em checklists manuais.
Manutenção reativa	3	Quando acontece uma falha, o operador da linha aponta manualmente a parada não planejada no sistema e o técnico de manutenção recebe um alerta para realizar a manutenção.
Manutenção planejada	3	O planejamento da manutenção ainda é realizado empiricamente, porém estas informações abastecem sistemas de apoio que geram alertas.

A Tulipa D possui um nível de **automação da produção** de aproximadamente 50%, em que algumas máquinas são controladas através de automação. Quase toda Tulipa D possui esteiras de movimentação da peça, com dois robôs direcionando a peça, porém a célula possui pontos de trabalho manual: pontos de inspeção do produto, cabine para avaliar trincas no produto e embalagem. Para que a Tulipa D avance de nível em automação da produção será necessário expandir o controle de máquinas através da automação. Assim, com estes avanços será possível obter maior agilidade, confiabilidade e qualidade na produção.

A célula Tulipa D não possui sistema de sequenciamento fino da produção APS (*Advanced Planning and Scheduling*), a **programação da produção** ainda é realizada através da importação de dados do ERP da Oracle e majoritariamente realizada no Excel. Em seguida, a programação é exportada de volta para o sistema da empresa. De forma geral, a Tulipa D recebe a programação e estabelece ordem de produção através de conhecimento empírico dos trabalhadores. Para que haja avanços de nível em programação da produção recomenda-se

utilizar o um sistema APS para sequenciamento fino da produção. Assim, com estes avanços será possível obter reduções de setup e aumento da performance de entrega pois o sistema ajuda a encontrar rapidamente as melhores alternativas de programação.

Na **gestão da produção** da Tulipa D, os operadores contam quantas bandejas foram produzidas para inferir número de peças produzidas no final da produção. Essa informação é anotada num papel e arquivada. Ou seja, os indicadores de produção da célula são realizados manualmente, sem auxílio de um sistema de informação específico. Portanto, recomenda-se a utilização de um sistema de informação específico como o MES, capaz de obter dados para formar os indicadores automaticamente, para avançar de nível na Tulipa D. Assim, serão obtidos os seguintes benefícios: auxílio na tomada de decisões, transparência de informações e otimização de tempo e recursos.

A **inspeção de qualidade** ainda é realizada de forma manual e apontada em checklists manuais. Ou seja, na Tulipa D a inspeção é completamente manual, e o apontamento é realizado manualmente também. Portanto, recomenda-se a utilização de um módulo de qualidade do sistema MES, da colocação de sensores de visão capazes de abastecer o MES com informações automáticas do produto. Os benefícios esperados são agilidade na produção, confiança na checagem da peça e aumento da eficiência.

Quanto a **manutenção reativa** na Tulipa D, quando acontece uma falha, o operador da célula aponta manualmente a parada não planejada no sistema e o técnico de manutenção recebe um alerta para realizar a manutenção. É aberto chamado via sistema, em que a parada não planejada é registrada e um técnico é chamado para consertar a máquina. Quanto aos avanços de nível em manutenção reativa, recomenda-se utilizar um andon na área de manutenção que informe a necessidade de correção conforme o apontamento no Oracle. Assim, serão obtidos os seguintes benefícios: visibilidade e transparência das necessidades de manutenção, maior produtividade e eficiência e diminuição do tempo no atendimento dos chamados.

A **manutenção planejada** na Tulipa D ainda é realizado empiricamente, porém estas informações abastecem sistemas de apoio que geram alertas. Cadastro da árvore estrutura da máquina (conjunto, subconjunto e componentes), com base em recomendação fornecedores, histórico de falhas e análise de confiabilidade. O sistema ERP abre uma ordem de manutenção. Técnico tem acesso ao sistema e verifica o que existe ali. A partir das ordens abertas, é agendado uma parada programada para realizar as manutenções. Para o desafio de manutenção planejada, já está em fase de implementação um projeto sensoramento, para coleta de dados

de vibração das máquinas as quais são levadas a nuvem num servidor que vai indicar sugestão de manutenção e indicar anomalias. Assim, terá como benefício a adaptação dos agendamentos de manutenção preventiva às demandas de uso em suas operações. Garantindo que a coleta dos dados necessários para fazer uma manutenção preditiva e de diagnóstico.

4.3.2 Célula Tulipa G

A seguir será apresentada uma análise por desafio produtivo com objetivo de realizar uma visão aprofundada desta avaliação. Na Tabela 9 se apresentam os resultados desdobrados para a célula Tulipa D da EngineeringCo. Posteriormente, são discutidas as oportunidades identificadas a partir desses resultados relatados.

Tabela 9: Descrição da célula Tulipa D da EngineeringCo

Desafio	Nível	Descrição
Automação da produção	4	Algumas máquinas são controladas através de automação (aproximadamente 50%)
Programação da produção	2	A programação é realizada apenas manualmente através da utilização de planilhas eletrônicas e baseada em conhecimento empírico.
Gestão da produção	4	Os indicadores se baseiam em dados coletados por sensores nas máquinas e são analisados de forma conjunta em sistemas integrados.
Inspeção da qualidade	2	A inspeção de qualidade é realizada de forma manual e apontada em checklists manuais.
Manutenção reativa	3	Quando acontece uma falha, o operador da linha aponta manualmente a parada não planejada no sistema e o técnico de manutenção recebe um alerta para realizar a manutenção.
Manutenção planejada	3	O planejamento da manutenção ainda é realizado empiricamente, porém estas informações abastecem sistemas de apoio que geram alertas.

O que falta para a Tulipa G avançar e quais os benefícios esperados?

A Tulipa G possui um nível de **automação da produção** de aproximadamente 50%, em que algumas máquinas são controladas através de automação. Similar a Tulipa D, quase toda célula possui esteiras de movimentação da peça, com dois robôs direcionando a peça, porém a célula possui pontos de trabalho manual: pontos de inspeção do produto, cabine para avaliar trincas no produto e embalagem. Para que a Tulipa D avance de nível em automação da produção será necessário expandir o controle de máquinas através da automação. Assim, com estes avanços será possível obter maior agilidade, confiabilidade e qualidade na produção.

A célula Tulipa G também não possui sistema de sequenciamento fino da produção APS (*Advanced Planning and Scheduling*), a **programação da produção** ainda é realizada através da importação de dados do ERP da Oracle e majoritariamente realizada no Excel. Em seguida, a programação é exportada de volta para o sistema da empresa. De forma geral, os líderes da Tulipa G recebem a programação e estabelecem ordem de produção através de seus conhecimentos técnicos, sem auxílio de algum sistema de sequenciamento. Para que haja avanços de nível em programação da produção recomenda-se utilizar o um sistema APS para sequenciamento fino da produção. Assim, com estes avanços será possível obter reduções de setup e aumento da performance de entrega pois o sistema ajuda a encontrar rapidamente as melhores alternativas de programação.

Na **gestão da produção** da Tulipa G, utiliza-se um sistema MES (CAPTOR) integrado com o ERP da Oracle da empresa capaz de captar dados em pontos específicos. Há ao todo três pontos de leitura de QR code para fazer o rastreio das peças: um antes da peça entrar no processo de laminação, um após finalizar a o processo de laminação, e um último ao final do processo da Tulipa G antes do embalagem. Este sistema é capaz de captar vários dados de interesse como: peças por hora, OEE (*Overall equipment effectiveness*), disponibilidade de máquina, performance. Também serve como rastreabilidade do produto, diferente da Tulipa D, é possível rastrear a peça de forma instantânea a partir de seu QR code.

A **inspeção de qualidade** ainda é realizada de forma manual e apontada em checklists manuais. Ou seja, na Tulipa G a inspeção é feita de forma completamente manual, sendo o apontamento realizado manualmente também. Por isso, se recomenda a utilização de um módulo de qualidade do sistema MES, e a colocação de sensores de visão capazes de abastecer

este sistema com informações automáticas do produto. Os benefícios esperados são agilidade na produção, confiança na checagem da peça e aumento da eficiência.

Quanto a **manutenção reativa** na Tulipa G, quando acontece uma falha, o operador da célula aponta manualmente a parada não planejada no sistema e o técnico de manutenção recebe um alerta para realizar a manutenção. É aberto chamado via sistema, em que a parada não planejada é registrada e um técnico é chamado para reparar a máquina. Quanto aos avanços de nível em manutenção reativa, recomenda-se utilizar um andon na área de manutenção que informe a necessidade de correção conforme o apontamento no sistema Oracle da EngineeringCo. Desta forma, os seguintes benefícios serão obtidos: visibilidade e transparência das necessidades de manutenção, maior produtividade e eficiência e diminuição do tempo no atendimento dos chamados.

A **manutenção planejada** na Tulipa G ainda é realizado empiricamente, porém estas informações abastecem sistemas de apoio que geram alertas. Cadastro da árvore estrutura da máquina (conjunto, subconjunto e componentes), com base em recomendação fornecedores, histórico de falhas e análise de confiabilidade. O sistema ERP abre uma ordem de manutenção. Técnico tem acesso ao sistema e verifica o que existe ali. A partir das ordens abertas, é agendado uma parada programada para realizar as manutenções. Para o desafio de manutenção planejada, já está em fase de implementação um projeto sensoramento, para coleta de dados de vibração das máquinas as quais são levadas a nuvem num servidor que vai indicar sugestão de manutenção e indicar anomalias. Assim, terá como benefício a adaptação dos agendamentos de manutenção preventiva às demandas de uso em suas operações. Garantindo que a coleta dos dados necessários para fazer uma manutenção preditiva e de diagnóstico.

4.3.3 Índice Médio de Maturidade

Um índice geral de maturidade 4.0 foi gerado para avaliar a maturidade de cada uma das duas células de Tulipa. Este índice de maturidade foi calculado a partir dos seis desafios de produtividade: automação da produção, programação da produção, gerenciamento da produção, inspeção da qualidade, manutenção reativa e manutenção planejada. As médias foram calculadas somando-se os níveis de maturidade de cada categoria e dividindo-os pelo número de categorias avaliadas (seis). A média de maturidade 4.0 para Tulipa D foi de 2,67; enquanto que para a Tulipa G foi de 3,00. A diferença de médias indica que a Tulipa G é mais madura em termos de Indústria 4.0 em comparação com a Tulipa D. Ambas as células de

produção tiveram o mesmo nível de maturidade em todas as categorias, exceto no gerenciamento da produção, em que a Tulipa G apresentou um nível de maturidade superior (igual a 4) em relação à Tulipa D (de apenas dois).

A diferença de maturidade gerencial entre as duas células de produção pode ser explicada pelo uso de um Sistema MES na Tulipa G. O sistema MES utilizado, chamado CAPTOR, é capaz de ler o QR code da peça de produção e coletar dados de sensores nas máquinas. Isso permite a análise de dados em um sistema integrado e auxilia na tomada de decisões, dá transparência às informações e otimiza o uso de tempo e de recursos. Em contraste, a Tulipa D não possui um sistema MES e os operadores têm que contar manualmente quantas bandejas de tulipas foram produzidas para inferir o número de peças produzidas no final da produção.

Com base na presente pesquisa, percebe-se que os níveis de maturidade da Indústria 4.0 nas células Tulipa D e Tulipa G são semelhantes na maioria dos desafios de produtividade. No entanto, há uma diferença significativa na categoria de gestão da produção, em que a Tulipa G possui um nível de maturidade 4 (indicadores se baseiam em dados coletados por sensores nas máquinas e são analisados de forma conjunta em sistemas integrados), enquanto o nível de maturidade da Tulipa D foi constatado como apenas 2 (dados coletados manualmente e compilados em planilhas eletrônicas). O índice médio de maturidade para Tulipa D foi de 2,67; enquanto para Tulipa G a média ficou igual a 3,00. Indicando variabilidade na maturidade da Indústria 4.0 níveis dentro em diferentes células da Tulipa.

Como sugestão de avanços das células Tulipa da EngineeringCo quanto à processos inteligentes 4.0, espera-se a expansão do sistema MES CAPTOR já existente na Tulipa G no desafio de produtividade de gestão da produção. Além de expandir os indicadores de gestão para Tulipa D, a EngineeringCo poderá expandir os módulos do sistema MES para qualidade, manutenção e programação da produção. O sistema MES, juntamente com avanços na implementação de automação da produção e a implementação de um sistema APS para sequenciamento fino da produção serão os protagonistas desse avanço em Indústria 4.0 para a empresa. Todas essas tecnologias citadas anteriormente consideram o uso massivo de tecnologias de base conforme a necessidade em pontos específicos, como sensores, atuadores, capacidade de *big data*, *cloud computing* e inteligência artificial. Um exemplo, é a eliminação de inspeção de qualidade manual ao longo da célula sendo substituída por inspeção automática via sensor de visão enviando os dados diretamente ao módulo do sistema MES em tempo real.

5. Conclusões

O presente estudo foi capaz de desenvolver um modelo de maturidade próprio para a fábrica do setor metal mecânico EngineeringCo, e ainda, a partir deste modelo adaptado e utilizado (NEO & ME, 2022), realizar o diagnóstico quanto a maturidade tecnológica em Indústria 4.0 dos processos desta fábrica. O estudo também destaca a importância de avaliar diferentes aspectos da maturidade da Indústria 4.0 para identificar áreas de melhoria. Embora a EngineeringCo já esteja implementando algumas soluções da Indústria 4.0, como o projeto sensoramento para coleta de dados de vibração das máquinas, e automação robótica de processos digitais; o estudo identificou oportunidades significativas de melhoria nos desafios de inspeção da qualidade, programação da produção e manutenção reativa em ambas as Tulipa D e Tulipa G. Para a manutenção reativa, a implementação de um andon na linha de produção poderia melhorar o tempo de resposta e reduzir o tempo de inatividade para manutenção reativa. Enquanto que a implementação de um sistema APS (*Advanced Planning and Scheduling*) poderia aumentar a eficiência da produção e reduzir os tempos de espera para o planejamento da produção.

Pesquisas adicionais em outros processos produção fora a Tulipa poderiam fornecer informações adicionais para a tomada de decisões da empresa, e ajudar a identificar tendências comuns em diferentes áreas. Os resultados deste estudo sugerem que a EngineeringCo tem espaço para melhorias nas várias dimensões de maturidade da Indústria 4.0. Como pesquisas futuras, sugere-se que outras células além das Tulipas D e G sejam analisadas na EngineeringCo, como forma de obter uma perspectiva completa da fábrica, podendo ter acesso a uma avaliação de maturidade geral. Além disso, sugere-se que este estudo seja expandido para os outros Smarts propostos nos estudos de Frank et al. (2019), com desafios de produtividade correspondentes a ele.

6. Referências

ABIMAQ (2021). ABIMAQ em Números 2021. <https://abimaq.org.br/wp-content/uploads/2022/08/2022080765348001661450346.pdf>

Carolis, A. D., Macchi, M., Negri, E., & Terzi, S. (2017, September). A maturity model for assessing the digital readiness of manufacturing companies. In IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems (pp. 13-20). Springer, Cham.

Chiarello, F., Trivelli, L., Bonaccorsi, A., & Fantoni, G. (2018). Extracting and mapping industry 4.0 technologies using wikipedia. *Computers in Industry*, 100, 244-257.

Frank A., Ayala. N., Tabim V., Dornelles J. Relatório técnico de Indústria 4.0 para uma empresa do setor de cosméticos brasileira. Núcleo de engenharia organizacional NEO UFRGS, 2022.

Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210(September 2018), 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>

Garcia, M. L., & Bray, O. H. (1997). Fundamentals of technology roadmapping (No. SAND-97-0665). Sandia National Lab.(SNL-NM), Albuquerque, NM (United States).

Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. *Final report of the Industrie*, 4(0), 82.

Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, R., Bleider, M., & Millack, A. (2017). IMPULS, Industry 4.0 readiness, VDMA.

Meindl, B., Ayala, N. F., Mendonça, J., & Frank, A. G. (2021). The four smarts of Industry 4.0: Evolution of ten years of research and future perspectives. *Technological Forecasting and Social Change*, 168(November 2020). <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120784>

Pacchini, A. P. T., Lucato, W. C., Facchini, F., & Mummolo, G. (2019). The degree of readiness for the implementation of Industry 4.0. *Computers in Industry*, 113, 103125. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.103125>

Schuh, G., Anderl, R., Dumitrescu, R., ten Hompel, M., (2020). Industrie 4.0 Maturity Index. In: *Managing the Digital Transformation of Companies (Acatech Study)* Herbert Utz Verlag, (Munich).

Schumacher, A., Erol, S., & Sihm, W. (2016). A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia Cirp*, 52, 161-166.

Schumacher, A., Nemeth, T., & Sihm, W. (2019). Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises. *Procedia Cirp*, 79, 409-414.

Silva, A. C. R. (2003). Metodologia da pesquisa aplicada. *São Paulo: Atlas*.

Tabim, V. M., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2021). Implementing Vertical Integration in the Industry 4.0 Journey: Which Factors Influence the Process of Information Systems Adoption? *Information Systems Frontiers*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s10796-021-10220-x>

Wang, L., Törngren, M., & Onori, M. (2015). Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 517-527.

Yin, R. K. (2012). Case study methods. *APA Handbook of Research Methods in Psychology, Vol 2: Research Designs: Quantitative, Qualitative, Neuropsychological, and Biological*, 2, 141–155. <https://doi.org/10.1037/13620-009>