

AVALIAÇÃO DA MATURIDADE EM INOVAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS

INDUSTRIAL PROCESS INNOVATION MATURITY ASSESSMENT

Recebido em 15.07.2024 Aprovado em 12.04.2025

Avaliado pelo sistema double blind review

DOI: <https://doi.org/10.12712/rpca.v19i1.63712>

Nathália Cristhyna Rodrigues de Lima

naticristhyna@gmail.com

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção (PPGEP), Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Goiás (FCT/UFG), Aparecida de Goiânia, Goiás, Brasil.
<https://orcid.org/0000-0002-4883-734X>

Roberto da Piedade Francisco

roberto.piedade@ufg.br

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção (PPGEP), Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Goiás (FCT/UFG), Aparecida de Goiânia, Goiás, Brasil.
<https://orcid.org/0000-0002-4452-299X>

Nadya Regina Galo

nadyagalo@id.uff.br

Departamento de Gestão e Empreendedorismo (STE), Faculdade de Administração e Ciências Contábeis, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil.
<https://orcid.org/0000-0001-6641-5610>

Resumo

Este artigo apresenta um modelo de avaliação da maturidade em inovação de processos em empresas industriais de pequeno e médio porte. Para tanto, inclui-se a definição de critérios e indicadores chave tais como cultura organizacional, gestão de processos, habilidades e estratégias, ferramentas e tecnologias, governança, e clientes e mercado. A ferramenta também incorpora procedimentos de categorização pessimista e otimista de método de tomada de decisão multicritério (ELECTRE TRI) para oferecer uma análise mais robusta e abrangente, cujos resultados mostraram uma classificação precisa das alternativas em diferentes categorias de inovação, a qual facilita a priorização de ações estratégicas.

Palavras-chave: Nível de maturidade em inovação. Método multicritério. ELECTRE TRI.

Abstract

This article presents a model for assessing maturity in process innovation in small and medium-sized industrial companies is presented. To this end, it includes defining key criteria and indicators such as organizational culture, process management, skills and strategies, tools and technologies, governance, and customers and markets. The tool also incorporates multi-criteria decision-making method (ELECTRE TRI) pessimistic and optimistic categorization procedures to offer a more robust and comprehensive analysis, which showed an accurate classification of alternatives into different innovation categories, facilitating strategic action. prioritization.

Keywords: Innovation maturity level. Multicriteria method. ELECTRE TRI.

Introdução

A inovação é uma das principais alavancas para o crescimento e a competitividade das organizações em um ambiente de negócios em constante evolução. No entanto, o reconhecimento da importância da inovação para a competitividade e o crescimento sustentável tem levado ao desenvolvimento de algumas ferramentas de avaliação de maturidade em inovação que são adaptáveis e acessíveis para as empresas de pequeno e médio porte.

Para enfrentar esse cenário, é fundamental que as indústrias adotem estratégias para se adaptarem às novas demandas do mercado, buscando investir em inovação e tecnologia. Também é necessário que as empresas implementem tecnologias em seus processos, devido às necessidades da inserção de equipamentos e/ou estratégias mais inovadoras para que essas organizações se tornem mais desenvolvidas. Pois, de acordo com Ganzarain & Errasti (2016), os negócios necessitam de uma assistência tecnológica, tanto digital quanto física, para conseguir proporcionar um melhor desempenho e rápida adaptação em suas relações e operações.

Assim sendo, este artigo tem como objetivo desenvolver um método de avaliação da maturidade de inovação em processos de indústrias de pequeno e médio porte, que possibilite que as organizações consigam um melhor posicionamento estratégico. Outro ponto importante consiste em que a avaliação forneça sugestões de melhorias para a empresa em termos de processos, tecnologias e habilidades, as quais possam aumentar a sua capacidade de inovar. Espera-se, também, que a avaliação promova uma cultura de inovação na empresa, incentivando a colaboração e a criatividade entre os funcionários e gerentes, e enfatizando a importância da inovação nos processos de produção e operações.

Para fornecer um instrumento rigoroso de avaliação do nível de maturidade em inovação de processos dentro das organizações, esta pesquisa visa desenvolver um método teoricamente sólido e empiricamente fundamentado, baseado no método e procedimento de Caiado et al. (2021). Foi desenvolvida uma ferramenta para avaliação da maturidade em inovação de processos empregando o método multicritério ELECTRE TRI.

Inicialmente, foi realizada uma comparação dos métodos de maturidade em inovação já existentes que visava identificar o requisito principal do nível de inovação e os elementos desses métodos, as tecnologias mais utilizadas e os processos usuais implementados dentro das organizações. Em um segundo momento, foi desenhado o método e determinado um conjunto de indicadores críticos para avaliar holisticamente os processos dentro das indústrias de forma sistemática.

Inovação

Inovação é um termo que pode ter diferentes definições dependendo do contexto em que é utilizado, podendo ser discutido em diferentes campos, como a economia, a administração e a tecnologia. De acordo com o Manual de Oslo (OCDE, 1997) a inovação consiste na implementação de um produto, bem ou serviço novo ou significativamente melhorado, buscando comercializar oportunidades mais eficientes. Para tanto, a inovação pode ser de produtos, serviços, processos, marketing e organizacional visando entregar aos clientes um serviço e/ou produto diferenciado e que apresente valor agregado ao mercado. Em geral, a inovação se refere ao processo de criação, desenvolvimento e implementação de novas ideias, produtos, serviços ou processos que criam valor para indivíduos, empresas ou a sociedade como um todo.

Deste modo, Zhang (2022) afirma que a inovação de produto irá permitir que as empresas alcancem uma vantagem competitiva desenvolvendo novos produtos para atrair novos potenciais clientes ou realizar a introdução de produtos significativamente melhorados nos mercados atuais. Alternativamente, a inovação de processo oferece às empresas uma vantagem competitiva ao diminuir os custos unitários de produção ou aumentando a sua participação no mercado utilizando-se produtos

de maior qualidade e produção flexível. Contudo, pesquisas mostram que as empresas tendem a utilizá-las simultaneamente (Zhang, 2022).

De acordo com Niewöhner et al. (2020) a gestão da inovação é um conceito que tem sido abordado de diversas maneiras na literatura, e que pode variar dependendo do contexto em que é utilizado. No entanto, dependendo do ponto de vista de cada autor, diferentes tarefas podem ser atribuídas à gestão da inovação. Por exemplo, alguns autores podem enfatizar a importância da criação de um ambiente propício à inovação, que estimule a criatividade e o pensamento fora da caixa Ahmed & Shepherd (2010), Tidd & Bessant (2020), Melendez, D'Avila & Melgar (2019). Outros podem destacar a importância da gestão de processos, da alocação de recursos e da gestão de riscos para o sucesso da gestão da inovação McNally & Schmidt (2011). Contudo, Pietronudo, Croidieu & Schiavone (2022) afirmam que a gestão da inovação pode ser desafiadora para as organizações, pois envolve lidar com incertezas, riscos e mudanças constantes, e que muitas empresas não conseguem seguir um processo racional. Isso ocorre devido à falta de informações completas e precisas sobre as necessidades do mercado e as tendências tecnológicas.

A gestão da inovação é uma abordagem sistemática para gerenciar e promover a inovação em uma organização. Segundo Naeini et al. (2022) a gestão da inovação envolve a formalização do processo de inovação para garantir que novas ideias, métodos e produtos sejam sistematicamente identificados, avaliados, desenvolvidos e lançados no mercado. Os autores Niewöhner et al. (2020) apresentam seis campos da gestão da inovação: impulsos para inovação, geração de ideias e implementação de inovação, bem como organização, cultura e estratégia de inovação. De tal modo que, a gestão da inovação é importante no contexto da inovação de processos porque ajuda a garantir que as soluções de inovação desenvolvidas para melhorar os processos sejam gerenciadas de forma eficaz.

Inovação de processos

Inovar em processos significa introduzir novos ou melhorados métodos, técnicas e sistemas na produção, distribuição e entrega de bens e serviços, isso provoca mudanças na maneira como os produtos são projetados, fabricados e distribuídos, bem como melhorias na maneira como os serviços são entregues aos clientes (Denardin et al., 2012).

Por exemplo, quando as empresas investem em tecnologias Indústria 4.0, elas estão sinalizando aos fornecedores que estão empenhadas em melhorar sua eficiência interna e, portanto, melhorar suas operações como um todo (De Giovanni, 2019). Isso pode ser feito por meio de uma variedade de tecnologias, como a Internet das Coisas (IoT), a Inteligência Artificial (IA), a Robótica Avançada, a Manufatura Aditiva (Impressão 3D), entre outras, conforme é apresentado na Figura 1. Essas tecnologias podem ser aplicadas em diferentes áreas da empresa, desde o chão de fábrica até a cadeia de suprimentos e a logística, e acarreta diversas vantagens para as empresas e o mercado de modo geral.

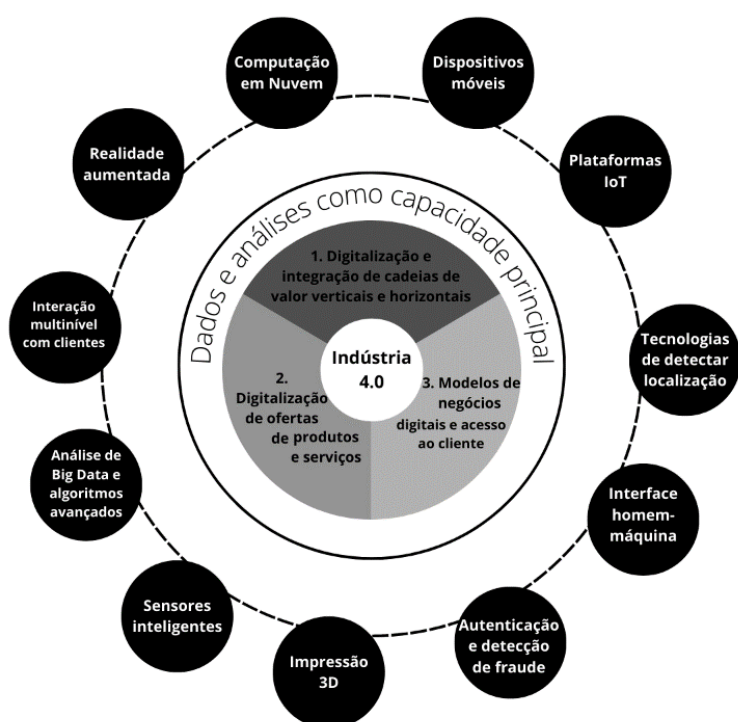


Figura 1 - Componentes básicos da Indústria 4.0.

Fonte: Adaptado de Lichtblau et al. (2016).

Nesta conjectura, Frank et al. (2019) afirmam que os benefícios esperados com o uso das tecnologias na indústria variam, pois, as sinergias e inter-relações entre diferentes elementos da I4.0 podem levar a um melhor desempenho. É necessário pensar sistematicamente na implementação dessas tecnologias para atingir um nível de maturidade mais alto de I4.0 (Dalenogare et al., 2018). Por isso, é fundamental que as organizações compreendam e conheçam o seu grau de inovação existente, para que consigam fornecer subsídios para acompanhar o desenvolvimento organizacional.

Métodos de avaliação da maturidade em inovação

A gestão por nível de maturidade é uma abordagem que busca identificar em que nível de maturidade a empresa se encontra em relação a determinada área de gestão, tendo como objetivo aumentar a performance da empresa ao identificar as lacunas existentes entre o nível de maturidade atual e o nível desejado (Santos, 2009), e então, desenvolver planos de ação para preencher essas lacunas. Para isso, é utilizado um método de maturidade que define um conjunto de práticas ou comportamentos esperados em cada nível de maturidade.

Diversos estudos realizados por institutos internacionais têm demonstrado que empresas que possuem um foco na gestão de seus processos tendem a apresentar um nível de desempenho superior em relação a seus concorrentes do mesmo segmento (Moreira, 2010). Isso ocorre porque a gestão de processos é uma abordagem que visa a identificação, análise e melhoria dos processos de negócios da empresa, com o objetivo de aumentar a eficiência, a eficácia e a qualidade dos resultados. Ao adotar uma abordagem orientada a processos, a empresa é capaz de visualizar o fluxo de trabalho em sua totalidade e identificar gargalos, ineficiências e oportunidades de melhoria em cada etapa do processo.

Os métodos de maturidades (MMs) são ferramentas de avaliação que têm como objetivo analisar e determinar o nível de preparação, atitudes e recursos de um sistema em relação a determinada área de gestão (Mittal et al., 2018), de tal modo que consigam ilustrar se a organização está pronta para iniciar o processo de desenvolvimento ou não (Akdil, Ustundag & Cevikcan, 2018). Ao aplicar um método de maturidade, é possível avaliar o desempenho atual da empresa em relação à área de gestão em questão,

identificar pontos fortes e áreas de melhoria, estabelecer metas e planos de ação para avançar para o próximo nível de maturidade e, conseqüentemente, melhorar a performance geral da organização.

As propriedades dos MMs fornecem uma estrutura clara e orientada a resultados para a gestão de diversas áreas de negócios, permitindo a evolução constante das empresas. De acordo com Carolis et al. (2017), Fraser, Moultrie & Gregory (2002) e Röglinger, Pöppelbuß & Becker (2012) algumas propriedades comuns dos MMs são os níveis de maturidade; a “descrição” com o nome de cada nível; o detalhamento genérico dos níveis; as dimensões; as atividades para cada dimensão; e descrição de cada atividade, para cada nível de maturidade. No Quadro 1, é possível visualizar os modelos de maturidade pesquisados.

Quadro 1 – Modelos de maturidades de inovação.

Modelo	Níveis
Método de Maturidade IMPULS (Indústria 4.0) – Lichtblau et al. (2015).	Leigo: A empresa não adota os conceitos de Indústria 4.0. Iniciante: Existem projetos pilotos em alguns setores, com uso limitado de tecnologia da informação e infraestrutura de máquinas que permitem apenas parcial integração e comunicação. Intermediário: A empresa tem estratégias para implantar tecnologias da Indústria 4.0, monitorando operações. Experiente: Com estratégias bem definidas e várias tecnologias implantadas, a empresa desenvolve produtos inteligentes, mas ainda sem integração com clientes. Expert: A empresa investe na maioria das áreas, com processos suportados pela gestão da inovação e sistemas de tecnologia da informação e comunicação que coletam dados para otimização. Alta Performance: Há monitoramento contínuo dos projetos, gestão da inovação consolidada, e máquinas e ferramentas operam autonomamente com sistemas interligados.
Níveis de maturidade em relação à Estratégia Corporativa – Pessl (2017).	1 – Indústria 4.0 não é considerada de forma alguma na estratégia da empresa. 2 – Indústria 4.0 não é considerada na estratégia da empresa, mas a empresa começa a atentar-se com os conceitos I4.0. 3 – Indústria 4.0 atrai atenção moderada na estratégia da empresa, mas está em estágio inicial, pois está sendo implementada em algumas áreas. 4 – Indústria 4.0 atrai atenção na estratégia corporativa e as medidas são implementadas pela maioria. 5 – Indústria 4.0 está totalmente integrada à estratégia da empresa e as medidas são consistentemente implementadas e avaliadas.
Método de Maturidade e Prontidão para a Estratégia I4.0 – Akdil, Ustundag & Cevikcan (2018).	0 – Alguns requisitos são extremamente baixos e por isso considera-se que não há implementação de conceitos da I4.0. 1 – A empresa realiza algumas iniciativas piloto em seus departamentos. Níveis de integração e automação são baixos, com coleta de dados insuficiente para transformação digital. Tecnologias digitais e nuvem não são implementadas. A infraestrutura do equipamento tem baixa prontidão. A administração considera estratégias da I4.0 para algumas áreas e há iniciativas piloto para novos métodos de negócios. Estrutura organizacional inadequada. 2 – Dados são gerenciados em tempo real e rastreáveis. Ofertas de serviços baseados em dados estão em nível médio, assim como a integração, compartilhamento e uso de dados nos processos de negócios. Processos podem ser descentralizados, com interoperabilidade implementada em algumas áreas. Considera novas oportunidades de negócio, criando parcerias acadêmicas e empresariais. Estrutura organizacional adequada para projetos iniciais da I4.0 e novos métodos de negócios estão sendo construídos. 3 – Produtos e serviços são inteligentes, com dados confiáveis. Processos de negócios possuem alto nível de integração, compartilhamento e coleta de dados. Quase todos os processos são descentralizados com interoperabilidade em quase todas as áreas, suportados por tecnologias digitais avançadas. Liderança apoia a I4.0 com investimentos em todos os departamentos. Estrutura organizacional adequada para gerenciar a transformação em toda a empresa.
Avaliação da Maturidade Lean e Performance Operacional – Santos Bento & Tontine (2018).	1 – O processo ainda não foi implementado ou está sem fase de implementação de maneira informal, com resultados instáveis. 2 – O processo formal de implementação foi iniciado e existe um cronograma a ser cumprido. 3 – O processo foi implementado e documentado, mas existem falhas na implementação. 4 – O processo foi implementado totalmente em algumas áreas e com indicadores estabelecidos, os resultados planejados estão sendo alcançados. 5 – O processo está totalmente implementado com indicadores estabelecidos, resultados efetivos e houve melhoras nos últimos 12 meses.
Avaliação de Processos Requisitos para Estruturas de	Incompleto: Práticas essenciais são parcialmente ou não implementadas. A organização foca apenas nas operações fundamentais como análise de requisitos, aquisição, produção e vendas. Realizado: Práticas básicas são alcançadas e a transformação é iniciada. Infraestrutura tecnológica para Indústria 4.0 é adquirida e tecnologias inteligentes como IoT

Medição de Processos (SPICE) – Gökalp, Sener & Eren (2017).	começam a ser empregadas. Existe uma visão e um roteiro para a transição, mas não está completamente implementado. Gerenciado: Conjunto de dados relacionados a cada operação são definidos e começam a ser coletados, mas não são integrados entre diferentes operações. Itens físicos começam a ser representados virtualmente e a digitalização é avaliada. Estabelecido: Atividades-chave e operações de valor agregado são bem definidas, consistentes com a padronização. Dados são identificados, coletados e armazenados sistematicamente. Integração vertical é alcançada, conectando sensores e atuadores em máquinas a sistemas de Planejamento de Recursos Empresariais. Padronização é avaliada. Previsível: Integração horizontal é alcançada, incluindo a cadeia de suprimentos. Informações sobre produtos e processos são instantâneas, melhorando a otimização da manufatura distribuída. Ferramentas de análise de dados melhoram a produtividade. Áreas são integradas, alta eficiência das operações com controle em tempo real. Otimização: Integração para engenharia e vida útil do produto permite compartilhamento de conhecimento. A organização continuamente melhora seus negócios, com uma estrutura inovadora e métodos de negócios avançados.
Método de Maturidade de Processos (DREAMY) – Carolis et al. (2017).	Inicial: A empresa não gerencia seus processos de forma proativa, resultando em problemas e situações imprevistas. Falta de infraestrutura e tecnologias adequadas impede a criação de soluções repetíveis, usáveis e escaláveis. Gerenciado: Decisões baseadas na experiência dos planejadores, com falta de planejamento adequado e tecnologias habilitadoras, impactando significativamente a gestão dos processos. Definido: Planejamento bem definido auxilia na tomada de decisões, mas a falta de tecnologias habilitadoras e responsabilidades organizacionais ainda pode causar restrições na execução dos processos. Integração completa dos processos ainda não foi alcançada. Integrado e Interoperável: Desenvolvimento de processos baseado na troca de informações, integração e interoperabilidade entre as aplicações. Processos são planejados e implementados eficientemente. Digitalmente orientado: Processos são digitalizáveis e baseados em tecnologias habilitadoras. A empresa tem alto potencial de crescimento, garantindo velocidade, robustez e segurança na troca de informações, além de promover colaboração interna e suporte à tomada de decisão.
Método de Maturidade DPMM 4.0 – Asdecker & Felch (2018).	Digitalização Básica: A organização não discute estratégias da Indústria 4.0 (I4.0); processo de entrega não é digitalizado; a disponibilidade de dados é limitada e não contínua; o sistema de TI corporativo suporta apenas seu campo de aplicação. Digitalização entre Departamentos: A organização começa a abordar questões da I4.0 nos departamentos que contribuem para o processo de entrega, como logística, armazenamento e atendimento ao cliente. Dados são integrados em um único sistema corporativo, com troca de informações não automatizada entre departamentos. Digitalização Horizontal e Vertical: O processo de entrega é digitalizado dentro das fronteiras organizacionais, com fluxos de dados automatizados que podem ser encaminhados entre etapas do processo. Utiliza-se a nuvem para troca de dados, facilitando a troca de informações. Digitalização Completa: A digitalização do processo de entrega estende-se além das fronteiras corporativas. Os princípios da I4.0 são seguidos por todos os parceiros de negócios, com colaboração ativa entre organização, clientes e provedores de serviços externos. Informações sobre pedidos e entregas são compartilhadas automaticamente, garantidas por técnicas de criptografia e autenticação. Digitalização Completa Otimizada: A digitalização completa interna e entre empresas, aliada à colaboração com clientes e provedores externos. Dados disponíveis permitem simulação em tempo real para diagnósticos colaborativos e tomada de decisão, com inteligência artificial e autoaprendizagem integradas nos sistemas de informação.
Método de Maturidade OSCM 4.0 – Caiado et al. (2021).	Inexistente: O processo não é implementado formalmente, sendo gerado sem padrões e com pouca organização. Não há tecnologias adequadas para suportar a revolução digital, e a organização não aborda a Indústria 4.0 (I4.0). Conceitual: Há um início formal de implantação do processo e um conhecimento básico do avanço. A gestão de processos ainda é fraca e a maturidade na gestão de infraestrutura é parcial. Problemas de I4.0 começam a ser resolvidos dentro dos departamentos, com integração parcial dos dados, mas sem troca automatizada. Gerencial: Padronização e tecnologias I4.0 são implementadas para melhorias. O processo é documentado e definido, mas ainda existem lacunas na integração e interoperabilidade. Dados são estruturados, mas a troca de informações ainda não é totalmente integrada. Avançado: O processo é bem integrado e interoperável, com padronização e compartilhamento dentro da empresa e entre parceiros de negócios. Indicadores são estabelecidos e a gestão é otimizada. Tecnologias I4.0 são implementadas em toda a cadeia de suprimentos, com previsão e controle de planejamento, e uso de técnicas de criptografia e sistemas de simulação. Auto otimizado: O processo é altamente digitalizado, com uma infraestrutura tecnológica avançada e organização preparada para

	crescimento. Há simulação em tempo real, integração de IA e autoaprendizagem em sistemas de informação. Processos são proativos, com previsibilidade da cadeia de suprimentos e fabricação inteligente.
--	---

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

As diferenças entre os métodos estão relacionadas à sua profundidade e objetividade, na composição dos itens avaliados em cada dimensão e nos critérios de mensuração. Alguns métodos enfocam mais as tecnologias envolvidas na Indústria 4.0, enquanto outros têm um enfoque mais estratégico. Por exemplo, Tangpong (2011) explana um estudo de método misto, combinando múltiplos métodos (qualitativo e quantitativo), o que pode ajudar a reduzir a susceptibilidade a achados sistematicamente enviesados e, ainda, a aumentar a validade e a confiabilidade dos resultados, levando ao final à validação do método.

Método de tomada de decisão multicritério - ELECTRE TRI

As abordagens multicritério podem auxiliar os decisores a selecionar as melhores alternativas diante da ambiguidade, incerteza e diversas opções disponíveis. Isso é alcançado através da estruturação do problema, identificação e avaliação das alternativas, e agregação das preferências dos decisores. A tomada de decisão multicritério (MCDM) é uma abordagem sistemática e estruturada para resolver problemas complexos que envolvem múltiplos critérios, frequentemente com objetivos conflitantes, de tal modo que deve ser escolhida uma ou mais alternativas a partir da avaliação de dois ou mais critérios (Dyer et al., 1992; Korhonen, Moskowitz & Wallenius, 1992).

Roy & Slowinski (2013) classificam os métodos de tomada de decisão, com base nos tipos de resultados, em três categorias: métodos de escolha, de ordenação e de categorização. De acordo com Galo (2018) os métodos de escolha visam encontrar a melhor solução ou um conjunto reduzido de soluções que permita eliminar as outras. Saaty (2000) explica que o método de ordenação é uma técnica utilizada para estabelecer uma hierarquia de alternativas com base em múltiplos critérios, permitindo a identificação das opções mais favoráveis e se tornando essencial em processos de tomada de decisão onde é necessário comparar e priorizar diversas alternativas. E Roy (1990) explana que o método de categorização é uma abordagem utilizada para classificar alternativas em diferentes categorias com base em critérios específicos.

Na elaboração de métodos de tomada de decisão, o objetivo principal é atingir um nível de precisão que seja suficientemente adequado para tornar o método útil, mantendo sua simplicidade (Almeida et al., 2015). De tal modo que, a tomada de decisão multicritério é uma ferramenta valiosa em ambientes de decisão complexos, proporcionando uma estrutura clara e sistemática para avaliar múltiplos critérios e chegar a decisões bem-informadas. Portanto, Galo (2018) afirma que para selecionar os métodos e técnicas mais apropriados, é essencial considerar o contexto do problema e determinar a importância de adicionar complexidade ao processo.

Os métodos multicritérios permitem a análise de diversas opções de forma comparativa, facilitando a escolha da alternativa mais adequada às necessidades e objetivos estabelecidos (Saaty, 2000). Entre os métodos estão o AHP (Analytic Hierarchy Process), TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations), e ELECTRE (Elimination and Choice Expressing Reality). Estudos recentes demonstram que o ELECTRE TRI tem sido amplamente aplicado em diversas áreas, incluindo gestão de projetos, sustentabilidade e inovação empresarial, devido à sua capacidade de fornecer uma visão clara e estruturada das alternativas e suas respectivas categorias (Gonçalves et al., 2021).

O ELECTRE TRI (Elimination et choix traduisant la réalité - Trier) é um método de categorização utilizado para alocar alternativas em categorias predefinidas com base em múltiplos critérios, considerando tanto uma perspectiva otimista quanto pessimista para a avaliação das alternativas

(Figueira, Greco & Ehrgott, 2016). Dias & Mousseau (2006) complementam que o ELECTRE TRI utiliza perfis de referência para comparar cada alternativa e determinar sua categoria apropriada, oferecendo uma abordagem robusta para a tomada de decisão em cenários complexos.

O problema de classificação multicritério consiste em designar um conjunto de alternativas $A = a_1, a_2, \dots, a_n$, avaliados em n critérios g_1, g_2, \dots, g_n , a uma das categorias predefinidas e que são delimitadas por perfis b_h (Mousseau, Slowinski & Ziekiewicz, 2000). Para classificar as alternativas utilizando o ELECTRE TRI, são estabelecidas categorias ordenadas com limites inferiores e superiores ajustados para cada critério em questão, como exemplificado na Figura 5.

Na figura 2 acima, cada critério C_j ($j = 1, 2, \dots, n$), a categoria CT_{h+1} é limitada por um limite inferior b_h e um limite superior b_{h+1} . Para designar uma alternativa a para uma categoria CT_{h+1} compara-se as alternativas a com os perfis b_h ($h = 1, 2, \dots, p$), que serão definidos os limites de cada categoria (Mousseau, Slowinski & Ziekiewicz, 2000). No método ELECTRE TRI, as relações de sobreclassificação desempenham um papel crucial na ordenação das alternativas com base em múltiplos critérios. Essas relações são estabelecidas entre cada par de alternativas, indicando se uma alternativa é preferida, indiferente ou inferior à outra em termos de todos os critérios considerados (Figueira, Greco & Ehrgott, 2016).

Ainda, conforme discutido por os referidos autores estas relações são fundamentais para a construção da fronteira de eficiência e para a determinação das alternativas não dominadas, auxiliando os decisores na seleção da melhor opção possível frente a um conjunto complexo de critérios e preferências.

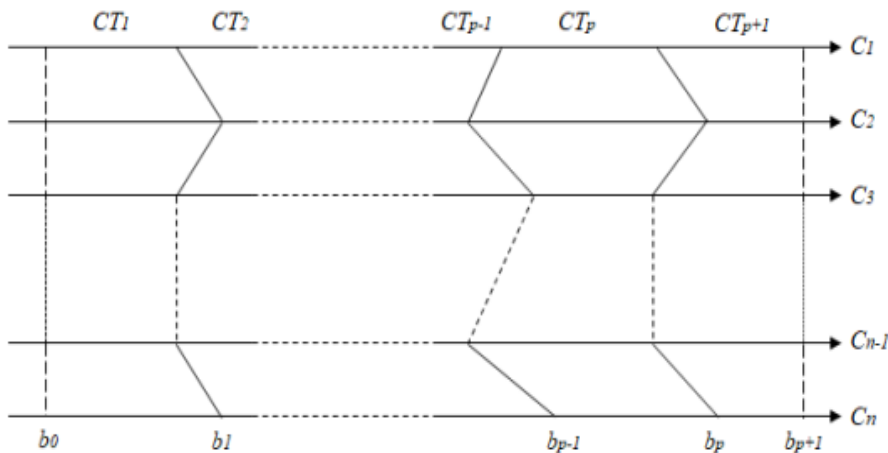


Figura 2 - Definição de categorias usando perfis de limite.

Fonte: Mousseau, Figueira & Naux (2001) e Mousseau, Slowinski & Zielniewicz (2000).

De acordo com Certa et al. (2017) para validar ou invalidar a afirmação de que aSb_h e b_hSa , o ELECTRE utiliza um parâmetro conhecido como índice de credibilidade ($\sigma(a, b_h)$ e $\sigma(b_h, a)$). Para calcular o índice de credibilidade, é necessário definir e calcular outros parâmetros, como o peso w_j dos critérios, a avaliação do desempenho nos critérios $g_j(a) \forall a$ ($a = \{1, 2, \dots, A\}$), os limiares de preferência $p_j(b_h)$, indiferença $q_j(b_h)$ e o veto $v_j(b_h)$.

O limiar de preferência $p_j(b_h)$ especifica a maior diferença $g_j(a) - g_j(b_h)$ que se mantém a preferência de a em relação a b_h no critério g_j ; o limiar de indiferença $q_j(b_h)$ representa a menor diferença $g_j(a) - g_j(b_h)$ em que se mantém a indiferença entre a e b_h no critério g_j ; e o limiar veto $v_j(b_h)$ representa a menor diferença $g_j(b_h) - g_j(a)$ que anula completamente a afirmação de que aSb_h (Mousseau, Slowinski & Ziekiewicz, 2000). Para definir o grau de credibilidade, seguem-se os seguintes passos (Mousseau, Figueira & Naux, 2001): (1) Cálculo dos índices de concordância parcial

$c_j(a, b_h) \forall j \in F$; (2) Cálculo do índice de concordância global $c(a, b_h)$; (3) Cálculo do índice de discordância $d_j(a, b_h) \forall j \in F$; (4) Cálculo do índice de credibilidade $\sigma(a, b_h)$ da relação de sobreclassificação. Na Tabela 1 é apresentado os cálculos conforme Mousseau, Figueira & Naux (2001).

Tabela 1 - Fórmulas para cálculo dos índices.

Índices	Equação
Concordância Parcial	$c_j(a, b_h) = \begin{cases} 0, \text{ se } g_j(b_h) - g_j(a) \geq p_j(b_h) \\ 1, \text{ se } g_j(b_h) - g_j(a) \leq q_j(b_h) \\ \frac{p_j(b_h) + g_j(a) - g_j(b_h)}{p_j(b_h) - q_j(b_h)}, \text{ caso contrário} \end{cases}$
Concordância Global	$C(a, b_h) = \frac{\sum_{j=1}^n w_j \times c_j(a, b_h)}{\sum_{j=1}^n w_j}$
Discordância	$d_j(a, b_h) = \begin{cases} 0, \text{ se } g_j(b_h) - g_j(a) \leq p_j(b_h) \\ 1, \text{ se } g_j(b_h) - g_j(a) > v_j(b_h) \\ \frac{g_j(b_h) - g_j(a) - p_j(b_h)}{v_j(b_h) - p_j(b_h)}, \text{ caso contrário} \end{cases}$
Credibilidade	$r(b_h) = c(a, b_h) \times \prod_{j \in F} \frac{1 - d_j(a, b_h)}{1 - c_j(a, b_h)}, \text{ onde } F = \{j \in F: d_j(a, b_h) > c_j(a, b_h)\}$

Fonte: Adaptado de Mousseau, Figueira & Naux (2001).

Ao obter o grau de credibilidade, é necessário definir um nível de corte λ , com $\lambda \in [0.5, 1]$ (Fontana & Nepomuceno, 2017) para identificar as relações de sobreclassificação ou superação. Segundo Galo (2018) o nível de corte λ irá indicar o menor grau de credibilidade $\sigma(a, b_h)$ que permite afirmar que a alternativa supera o limite de uma categoria.

Logo, os critérios estabelecidos por Mousseau, Figueira & Naux (2001) para comparar as alternativas com os limites são: se $\sigma(a, b_h) \geq \lambda$ e $\sigma(b_h, a) \geq \lambda$, tem-se que aSb_h e b_hSa , então a é indiferente a b_h (aIb_h); Se $\sigma(a, b_h) \geq \lambda$ e $\sigma(b_h, a) < \lambda$, tem-se que aSb_h e não b_hSa , então a é preferível a b_h (aSb_h); Se $\sigma(a, b_h) < \lambda$ e $\sigma(b_h, a) \geq \lambda$, tem-se que aSb_h e b_hSa , então b_h é preferível a “ a ” (b_hSa); E se $\sigma(a, b_h) < \lambda$ e $\sigma(b_h, a) < \lambda$, tem-se que aSb_h e não b_hSa , então a é incomparável a b_h (aSb_h). Esses critérios permitem determinar se uma alternativa é preferível, indiferente, ou inferior a outra, fornecendo uma estrutura clara para decisões complexas.

Para designar as alternativas a uma categoria, o método ELECTRE TRI segue dois passos principais: (1) Desenvolvimento de uma relação de superação S através da comparação de cada alternativa com os limites das categorias; (2) Exploração da relação S para atribuir cada alternativa específica (Mousseau, Slowinski & Ziekiewicz, 2000). O primeiro passo é alcançado calculando o nível de credibilidade e construindo as relações de preferência. No segundo passo, é necessário explorar as relações de sobreclassificação para alocar as alternativas às classes predefinidas. Existem dois procedimentos de atribuição que podem ser aplicados: o procedimento pessimista e o procedimento otimista (Certa et al., 2017).

O procedimento pessimista e otimista refere-se a uma abordagem de análise de decisão que considera diferentes perspectivas extremas em relação aos resultados possíveis. Segundo Figueira, Greco & Ehrgott (2016), o procedimento pessimista envolve a maximização das desvantagens e minimização das vantagens associadas a cada alternativa, visando identificar a pior situação possível. Quando este procedimento é aplicado com $\lambda=1$, a designação de uma alternativa à categoria Ch ocorrerá somente se

$gj(a)$ for igual ou maior que $gj(b_h)$ para cada critério (Mousseau, Slowinski & Ziekiewicz, 2000).

Por outro lado, o procedimento otimista, como discutido por Figueira, Greco & Ehrgott (2016), foca na maximização das vantagens e minimização das desvantagens, procurando determinar a melhor situação possível para cada alternativa considerada. Esses procedimentos são úteis para avaliar a robustez das decisões em face de diferentes cenários e níveis de incerteza, permitindo aos decisores considerar tanto os riscos quanto as oportunidades potenciais de cada opção disponível. Quando este procedimento é aplicado com $\lambda=1$, uma alternativa a só poderá ser atribuída à categoria Ch se $gj(b_h)$ exceder $gj(a)$ em pelo menos um critério (Mousseau, Slowinski & Ziekiewicz, 2000).

Método de medição do nível de maturidade em inovação

Para a elaboração de um método de maturidade em inovação de processos, é comum utilizar elementos básicos que ajudam a estruturar o método de maneira clara e organizada. O método deve ter um número determinado de níveis de maturidade que, neste trabalho, foi definido ter cinco níveis. Cada nível representa um estágio na evolução da maturidade em inovação de processos, e a organização deve atingir cada nível antes de avançar para o próximo. Além disso, é importante descrever cada nível, de tal modo que deve ser resumido as principais características que a organização deve possuir para ser classificada naquele nível de maturidade. Os níveis são caracterizados da seguinte forma: nível 1 - avançado, nível 2 – gerenciado, nível 3 – intermediário, nível 4 – básico, nível 5 – convencional.

Além do descritor, é importante ter uma descrição mais detalhada de cada nível, que explique em mais detalhes as características que a organização deve possuir para ser classificada naquele nível. Outro ponto relevante consiste na definição do número de dimensões. Isto é, um método de maturidade em inovação de processos geralmente é estruturado em diferentes dimensões, que representam diferentes aspectos da inovação, sejam elas relacionadas aos processos, cultura organizacional, habilidades e ferramentas de inovação.

Neste sentido, o método proposto foi estruturado em seis dimensões que são apresentadas no Quadro 2. Cada dimensão pode ser analisada a partir de diferentes perspectivas. Para cada perspectiva, é essencial ter um descritor que resuma as principais características necessárias para que a organização seja classificada em um determinado nível de maturidade.

Quadro 2 - Dimensões do Método de Maturidade em Processos.

Dimensão	Descrição
Gestão de processos	Capacidade da organização de desenvolver e gerenciar processos inovadores, desde a ideia até a implementação.
Cultura Organizacional	Mentalidade da organização em relação à inovação, incluindo a tolerância ao risco, a motivação para inovar e a colaboração entre equipes.
Habilidades e Estratégias	Capacidade da organização de identificar e desenvolver habilidades necessárias para a inovação, como pensamento criativo, resolução de problemas e <i>design thinking</i> . Além, da capacidade da organização de alinhar sua estratégia de negócios com a inovação, identificando oportunidades de inovação e desenvolvendo uma visão clara de como a inovação pode ajudar a alcançar seus objetivos.
Ferramentas e Tecnologias	Capacidade da organização de utilizar ferramentas e tecnologias inovadoras, como inteligência artificial, internet das coisas e robótica, para melhorar seus processos.
Governança	Capacidade da organização de gerenciar e monitorar sua atividade de inovação, incluindo a gestão de riscos, o estabelecimento de metas e indicadores de desempenho e a comunicação dos resultados da inovação para partes interessadas internas e externas.
Clientes e Mercado	Capacidade da organização de compreender as necessidades e demandas do mercado e dos clientes, e de utilizar essa compreensão para desenvolver soluções inovadoras que atendam a essas necessidades.

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Deste modo, ao analisar o método proposto por Caiado et al. (2021) e Carolis et al. (2017) foi possível identificação semelhanças e diferenças entre os métodos existentes, para que assim, fosse possível estruturar um método mais robusto, abrangente e relevante para as organizações. No método DREAMYS proposto por Carolis et al. (2017) foram definidos cinco níveis de maturidades, sendo subdivididos do 1 ao 5, que consistem em inicial, gerenciado, definido, integrado e interoperado, e digitalmente orientado. Além disso, as dimensões foram: Processos; Controle e Monitoramento; Tecnologia; Organização.

Assim como no método de OSCM 4.0 de Caiado et al. (2021) que foram definidos cinco níveis de maturidades, sendo subdivididos de 0 a 4, que consistem em inexistente, conceitual, gerenciado, avançado e auto otimizado. Enquanto as dimensões foram três e sete perspectivas, sendo: Clientes, logística e fornecedor para a dimensão da Gestão da Cadeia de Suprimentos (SCM), a integração para SCM e POM, e planejamento e controle dos sistemas de produção, a qualidade e manutenção da dimensão POM. Neste sentido, no Quadro 3 é apresentado os níveis de maturidade do método proposto e sua descrição.

Quadro 3 - Níveis de maturidade do método de inovação.

Nível	Descrição
1 – Avançado	Há a gestão dos processos, com tecnologias de ponta, com uma organização em potencial crescimento, onde os processos são digitalizáveis. Os dados podem ser monitorados integralmente e virtualmente, facilitando diagnósticos e tomada de decisão. Há segurança na troca de informações, existe uma gestão de risco bem orientada e estruturada. As atividades e departamentos são integrados com o apoio de tecnologias habilitadoras.
2 – Gerenciado	Há uma padronização dos processos com planejamento adequado e a utilização de tecnologias da I4.0 que ampliam as fronteiras corporativas. Há uma cultura organizacional bem planejada e definida internamente. Existe uma padronização, compartilhamento de dados e interoperabilidade com uso de dados. Falta investimentos em tecnologias de ponta para alavancar os processos e facilitar a automação e digitalização da empresa. Inicia-se uma gestão de risco interna na empresa, mas ainda precisa ser mais bem estruturada.
3 – Intermediário	Há uma padronização dos processos, porém falta planejamento adequado e de tecnologias habilitadoras pode ter um impacto significativo na gestão dos processos. Utiliza-se algumas tecnologias da I4.0 para auxiliar na gestão da empresa de maneira significativa. É implementado a cultura organizacional de forma proativa. A empresa percebe a necessidade de oferecer cursos e disseminar a importância de inovação, mas existe pouco planejamento. Existe algumas deficiências na integração e interoperabilidade, apesar de se ter dados estruturados.
4 – Básico	Inicia-se o processo formal de implantação dos processos e há um conhecimento sobre alguns processos que está sendo dissipado internamente, por isso, a gestão de processos é pouca. Há pouca ou nenhuma tecnologia adequada para obter a revolução digital, mas inicia-se a criação de um fluxo de dados o que favorece um monitoramento das atividades. A organização começa a resolver os problemas da I4.0 dentro de um ou dois departamentos. Inicia-se a disseminação de valores e normas na empresa.
5 – Convencional	Não há gerenciamento dos processos dentro da organização com pouco controle das operações. Não há cultura organizacional bem definida dentro da empresa e o pouco que existe não está claro para todos. Não há incentivo para inovar dentro da organização, assim como não possui tecnologias adequadas para construir uma infraestrutura que suporte a revolução digital. A organização não aborda I4.0 e o sistema de TI corporativo disponível suporta apenas seu campo de aplicação.

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Sendo assim, após a estruturação do método, é necessário realizar uma avaliação para determinar o nível atual de maturidade das empresas em relação aos critérios definidos pelo método. Com base nos resultados da avaliação, a empresa pode identificar as lacunas em relação ao método e definir um plano

de ação para evoluir para níveis mais elevados de maturidade. O plano de ação pode incluir a definição de metas, a elaboração de um plano de implementação, a capacitação dos colaboradores, entre outras medidas. O objetivo final é alcançar níveis mais elevados de maturidade, o que pode trazer benefícios como maior eficiência, maior qualidade, maior produtividade, maior satisfação dos clientes e dos colaboradores, entre outros.

Procedimentos metodológicos

Ferramenta de aplicação do método

Nesta seção é apresentada a ferramenta de aplicação do método ELECTRE TRI, de tal modo que seja explanada a sua utilização. Este trabalho é desenvolvido utilizando funcionalidades avançadas do Excel, mas pode ser facilmente convertido em um aplicativo de software para facilitar seu uso por empresas industriais ou outras organizações de apoio. Na Figura 3 é apresentada a ferramenta de aplicação do método ELECTRE TRI para compreender o nível de inovação em processos nas organizações.

Figura 3 – Ferramenta de aplicação do método.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Na ferramenta, há duas abas denominadas "Dados" e "Main". Primeiro, as informações na aba "Main" devem ser preenchidas. Nesta aba, há uma tabela estruturada com colunas correspondentes a diferentes critérios de inovação. O nome da empresa deve ser inserido na célula "D4". Nos campos "Cultura Organizacional (g_1)", "Gestão de Processos (g_2)", "Habilidades e Estratégias (g_3)", "Ferramentas e Tecnologias (g_4)", "Governança (g_5)" e "Clientes e Mercado (g_6)" deve ser preenchido as células "E4", "F4", "G4", "H4", "I4" e "J4", respectivamente, com a média geométrica de cada bloco das perguntas, conforme mostra a Figura 4 abaixo.

Nome	Cultura Organizacional (g_1)	Gestão de Processos (g_2)	Habilidades e Estratégias (g_3)	Ferramentas e Tecnologias (g_4)	Governança (g_5)	Clientes e Mercado (g_6)
A1	2,000	5,000	4,000	3,000	4,000	2,000

Figura 4 - Tabela com os critérios de inovação da ferramenta.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Após realizar o preenchimento, clique no botão "Calcular". Automaticamente é preenchido os campos "Empresa", "Otimista", "Pessimista" e "Análise", conforme é apresentado na Figura 5.

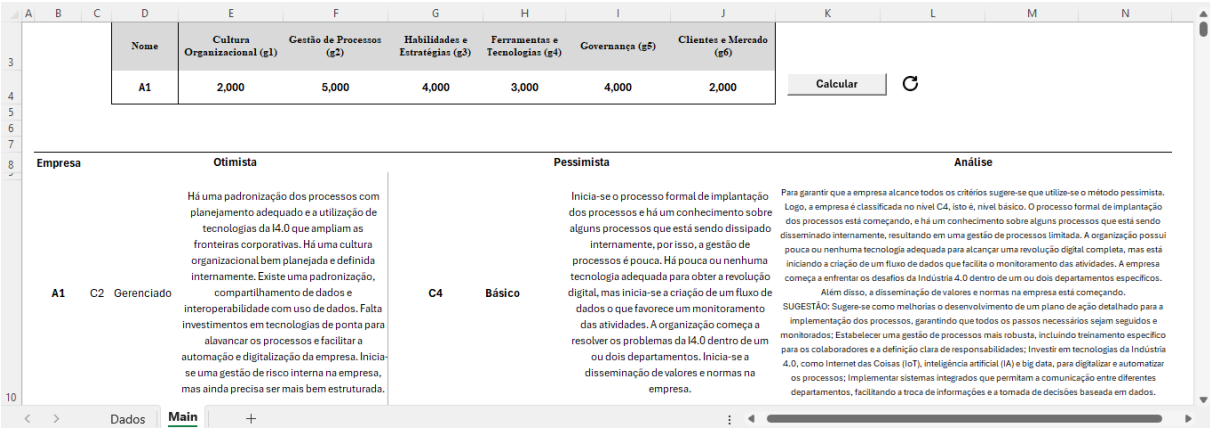



Figura 5 - Exemplo da Ferramenta aplicada ao método.
Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

O campo “Otimista” apresenta o nível que a empresa se encontra em relação ao procedimento otimista. Neste exemplo, a empresa A1 que possui os critérios g_1 , g_2 , g_3 , g_4 , g_5 e g_6 com notas de dois (2), cinco (5), quatro (4), três (3), quatro (4) e dois (2), respectivamente. Ela está no nível C2, isto é, possui inovação gerenciada quanto ao procedimento otimista. Enquanto no procedimento pessimista, representado pelo campo “Pessimista”, possui nível C4, isto é, nível básico de inovação. Em ambos os procedimentos além de apresentar os níveis é mostrado um resumo geral de quais são as características desta empresa quando se está em determinado nível.

Além disso, no campo “Análise” é apresentado uma avaliação de qual procedimento deve ser considerado e um breve resumo de sugestões de melhorias para a empresa, com base no seu nível de inovação. Segundo Mousseau, Slowinski & Zielniewicz (2000) sugere-se a utilização do procedimento pessimista, pois assegura que, quando $\lambda = 1$, a atribuição de uma alternativa à categoria C_h ocorrerá somente se $g_j(a)$ for igual ou superior a $g_j(b_h)$ para todos os critérios avaliados. Logo, neste exemplo, a empresa deve considerar que está no nível C4, isto é, nível básico de inovação.

Na aba “Dados” são feitos cálculos automatizados dos índices de concordância parcial e global, índices de discordância, de credibilidade, as relações de preferência e a designação de categorias. Esses cálculos são possíveis de serem realizados após preencher os valores seis critérios, na aba “Main”, como dito anteriormente. Ainda nessa aba são apresentados os limiares de preferência, indiferença e de veto, sendo que essas células são editáveis para que o responsável possa fazer alterações conforme necessário.

Por fim, na aba “Main” possui o ícone  que poderá redefinir a planilha, limpando todas as informações contidas nessa aba. Seguindo esses passos, é possível garantir que a ferramenta em Excel seja utilizada de forma eficaz para medir e melhorar o nível de inovação nos processos industriais de empresas de pequeno e médio porte. E a partir desse protótipo poderá ser desenvolvido um aplicativo de software para projetos futuros.

Método de medição

O método é constituído de um conjunto de doze quesitos, sendo dois para cada “bloco”. Os blocos foram definidos de acordo com as seis dimensões em que o método proposto foi estruturado, sendo eles: cultura organizacional, gestão de pessoas, habilidades e estratégias, ferramentas e tecnologias, governança, clientes e mercado. Além disso, as informações são oriundas das seguintes áreas das empresas: produção, gestão de projetos, vendas e marketing, recursos humanos e outros.

Os dados obtidos para a estruturação da planilha Excel pelo método ELECTRE TRI seguem as informações oriundas do Quadro 4.

Quadro 4 - Situações das dimensões com os possíveis níveis de inovação.

Situação	Níveis de Inovação
S1 (g1) - Valorização da inovação e adaptação de processos como parte de sua cultura.	C1: A cultura organizacional incentiva ativamente melhorias contínuas e novas ideias, com programas e recursos dedicados à inovação. C2: A inovação é importante e a criatividade é encorajada, mas de forma ainda limitada. C3: A empresa reconhece a importância da inovação, mas há espaço para melhorar a promoção dessas práticas. C4: Há consciência da necessidade de inovação, mas ela não está totalmente integrada na cultura organizacional, necessitando mais esforços. C5: A inovação não é valorizada, e há resistência a mudanças e inovações.
S2 (g1) – Métrica utilizada para monitorar o sucesso da cultura de inovação dentro da empresa.	C1: Utiliza pesquisas com colaboradores, métricas de participação em programas de inovação e mede o impacto financeiro das iniciativas (aumento de receita, redução de custos e ROI). C2: Mede o sucesso através de indicadores-chave de desempenho como número de patentes, lançamento de novos produtos e melhorias no atendimento ao cliente. C3: Avalia parcialmente o sucesso com pesquisas de satisfação dos colaboradores, mas carece de métricas de desempenho inovadoras sólidas. C4: Incentiva a inovação, mas não possui um método eficaz ou indicadores estabelecidos para medir o sucesso. C5: Não reconhece formalmente a necessidade de medir o sucesso da cultura de inovação.
S3 (g2) – Que metodologias específicas a empresa utiliza, tais como <i>Six Sigma</i>, <i>Value Stream Mapping</i> para aprimorar seus processos.	C1: Utiliza pelo menos duas metodologias para otimizar processos, com todas as áreas treinadas para aplicá-las de forma eficiente. C2: Utiliza metodologias para aprimorar processos como parte da cultura de melhoria, com algumas equipes treinadas. C3: Explora a adoção de metodologias com algumas equipes experimentando, mas sem implementação generalizada. C4: Não utiliza metodologias formais, realizando melhorias de forma simples e sem abordagem formal. C5: Não reconheceu a importância de adotar metodologias específicas para aprimorar processos.
S4 (g2) – As ferramentas ou softwares que a empresa utiliza para automatizar e otimizar processos operacionais.	C1: Utiliza várias ferramentas de automação e investe em tecnologias avançadas como softwares de simulação, robôs e IA. C2: Utiliza ferramentas e softwares para automatizar e otimizar processos, incluindo ERP, automação de fluxo de trabalho e gestão de projetos. C3: Avalia e seleciona ferramentas para automação e otimização, explorando opções para futura implementação. C4: Reconhece a necessidade de automação, mas ainda não implementou ferramentas ou softwares avançados, operando principalmente de forma manual. C5: Não utiliza ferramentas ou softwares para automação ou otimização, com operações realizadas manualmente.
S5 (g3) – As parcerias ou colaborações externas que a empresa busca para impulsionar a inovação, e como essas parcerias são gerenciadas.	C1: Possui uma estratégia robusta para gerenciar colaborações externas, usando plataformas de gerenciamento e equipes dedicadas de P&D e inovação. C2: Busca ativamente parcerias externas com universidades, startups e outras empresas para pesquisa, desenvolvimento e inovação. C3: Avalia e considera parcerias externas, explorando colaborações potenciais para encaixar na estratégia de inovação. C4: Reconhece a importância de parcerias externas, mas ainda não tomou medidas concretas ou incluiu colaborações na estratégia de inovação. C5: Não busca ativamente parcerias ou colaborações externas, focando predominantemente em abordagens internas.
S6 (g3) – A identificação e aproveitamento das habilidades únicas dos funcionários para impulsionar a inovação.	C1: A empresa incentiva a formação de equipes multidisciplinares para promover a inovação. C2: Valoriza e promove ativamente a identificação e aproveitamento das habilidades dos funcionários através de processos e programas específicos. C3: Está desenvolvendo um sistema para identificar e aproveitar as habilidades dos funcionários, com treinamentos e workshops. C4: Reconhece a importância, mas ainda não tem um sistema estabelecido. A inovação é incentivada, mas as contribuições individuais não são bem integradas. C5: Não possui um processo eficaz para identificar e aproveitar as habilidades dos funcionários.
S7 (g4) – Identificação de oportunidades de inovação e tomada de decisões estratégicas através da análise de dados e a inteligência artificial.	C1: Utiliza análise de dados e IA com uma estratégia avançada, incluindo algoritmos de aprendizado de máquina para identificar oportunidades de inovação. C2: Utiliza análise de dados e pelo menos uma ferramenta de IA para identificar tendências, prever demandas e otimizar processos. C3: Utiliza análise de dados e IA de forma limitada, com planos para ampliar a adoção dessas tecnologias. C4: Reconhece a importância, mas ainda não implementou efetivamente a análise de dados e IA. C5: Não utiliza análise de dados nem IA para identificar oportunidades de inovação ou tomar decisões estratégicas.
S8 (g4) – Adoção de	C1: Utiliza robôs e diversas tecnologias emergentes (IoT, blockchain, realidade

automação e tecnologias emergentes, como Internet das Coisas (IoT), blockchain ou realidade aumentada, para promover a inovação.	aumentada) com uma estratégia robusta. C2: Adotou parcialmente automação e pelo menos uma tecnologia emergente. C3: Adotou parcialmente tecnologias emergentes, avaliando sua viabilidade para outras áreas. C4: Reconhece a existência de tecnologias emergentes, mas ainda não as implementou efetivamente. C5: Não adotou tecnologias emergentes para promover a inovação, utilizando abordagens tradicionais.
S9 (g5) – Estrutura organizacional da empresa para a gestão da inovação (departamento dedicado ou uma equipe multidisciplinar).	C1: Tem um departamento e/ou equipe multidisciplinar dedicada à inovação, integrada em toda a organização. C2: Possui uma estrutura organizacional dedicada com um departamento e/ou equipe responsável por iniciativas de inovação. C3: Está em processo de estabelecer uma estrutura organizacional para a gestão da inovação. C4: Reconhece a importância, mas não possui uma estrutura formal dedicada à inovação. C5: Não possui uma estrutura organizacional dedicada à inovação.
S10 (g5) – Principais processos e procedimentos que a empresa utiliza para identificar, avaliar e priorizar iniciativas de inovação.	C1: Utiliza ferramentas de gestão de projetos e equipes dedicadas para garantir a eficácia na identificação, avaliação e priorização de iniciativas de inovação. C2: Possui processos bem definidos, incluindo coleta de ideias, análise de viabilidade e alocação de recursos. C3: Está desenvolvendo processos e procedimentos para gerenciar a inovação. C4: Reconhece a importância, mas ainda não implementou processos eficazes. C5: Não possui processos estabelecidos, sem estrutura formal para gestão da inovação.
S11 (g6) – Opinião dos clientes para inspirar novas ideias de inovação.	C1: Tem um sistema robusto para gestão do feedback do cliente, incorporando novas ideias no desenvolvimento de produtos e serviços. C2: Busca ativamente a opinião dos clientes através de várias metodologias e utiliza essas informações para gerar novas ideias. C3: Coleta feedback regularmente para inspirar inovações, com oportunidades de melhoria no processo. C4: Reconhece a importância, mas ainda não tem um sistema eficaz para coletar e utilizar o feedback dos clientes. C5: Não busca ativamente a opinião dos clientes para inspirar inovações.
S12 (g6) – Medição da satisfação do cliente após a implementação de produtos ou serviços inovadores.	C1: Tem um sistema robusto e contínuo para coletar e analisar feedback após a implementação de inovações, utilizando-o para aprimorar produtos e serviços. C2: Mede regularmente a satisfação do cliente após inovações através de várias metodologias. C3: Mede ocasionalmente a satisfação do cliente, considerando a formalização do processo. C4: Reconhece a importância, mas ainda não implementou um sistema ou processo eficaz. C5: Não mede a satisfação do cliente após inovações.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

De modo a explicar os quesitos pode-se citar a Situação 1 (g1) - Valorização da inovação e adaptação de processos como parte de sua cultura. E havia cinco possibilidades de respostas, sendo a primeira referente ao primeiro nível de inovação, isto é, nível avançado (C1) “Sim, a cultura organizacional incentiva ativamente a busca por melhorias contínuas e a exploração de novas ideias para aprimorar processos e produtos. Existem programas e recursos dedicados à promoção da inovação e da adaptação de processos.”; A segunda opção, referente ao nível gerenciado (C2) “Sim, a inovação é uma parte importante da cultura da empresa. Encorajamos a criatividade e a busca por soluções inovadoras para enfrentar os desafios em nossas operações, mas ainda de forma limitada.”; A terceira opção, referente ao nível intermediário (C3) “Em certa medida, a empresa reconhece a importância da inovação e da adaptação de processos, embora haja espaço para melhorias na promoção dessas práticas.”; A quarta opção, referente ao nível básico (C4) “A empresa está ciente da necessidade de inovação e adaptação, mas esses aspectos não são totalmente integrados na cultura organizacional. Poderia haver mais esforços para fomentar uma mentalidade inovadora.”; E, por fim, a última opção, nível convencional (C5) “Não, a empresa ainda não valoriza a inovação a adaptação de processos, e existe uma resistência a mudanças e inovações”. Nas demais situações a interpretação dos quesitos segue esta mesma lógica.

Apresentação e análise dos resultados

Dados coletados para aplicação do método ELECTRE TRI

Para compreender o nível de inovação das empresas do estado de Goiás foi solicitado a participação de

algumas empresas parceiras. Empresas responderam institucionalmente, e garantida a anonimidade, se propuseram a testar o método. Neste sentido, foi realizada uma coleta de dados e informações diretamente do ambiente empresarial.

Para aplicar o ELECTRE TRI foram definidos os seguintes parâmetros do método: (1) alternativas $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$; (2) os critérios g_1, g_2, \dots, g_n ; (3) os perfis das categorias b_h ; (4) os pesos dos critérios (w_1, w_2, \dots, w_n) ; (5) os limites de indiferença $q_i(b_h)$ e preferência $p_i(b_h)$ para cada critério i ; (6) os limiares de veto $v_i(b_h)$ e o nível de corte λ .

Ao obter as respostas dos questionamentos nas empresas parceiras e buscando garantir a confidencialidade dos dados, foi recomendado o uso de siglas para identificar cada empresa participante. Deste modo, o problema de classificação multicritério necessita-se designar um conjunto de alternativas $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$. E, como houve quinze empresas parceiras que participaram da pesquisa, cada uma delas foram denominadas de A1 referente a primeira resposta obtida, A2 referente a segunda resposta obtida, e assim consecutivamente, até a A15.

Posteriormente, para definir os tomares de decisão e os critérios a serem avaliados utilizou-se os seis blocos, como já apresentado anteriormente, sendo eles: (g_1) cultura organizacional, (g_2) gestão de processos, (g_3) habilidades e estratégias, (g_4) ferramentas e tecnologias, (g_5) governança, (g_6) clientes e mercado. Contudo, cada bloco é composto por duas perguntas, e para obter os critérios das alternativas optou-se por utilizar a média geométrica das duas respostas obtidas. De acordo com Mario (2018) descreve a média geométrica como sendo uma medida usada principalmente para conjuntos de números positivos, especialmente quando os valores variam significativamente, e é calculada multiplicando todos os valores e, em seguida, tomando a raiz enésima, onde n é o número total de valores, conforme é mostrado na Equação 1.

$$\text{Média Geométrica (MG)} = \left(\prod_{i=1}^n x_i \right)^{\frac{1}{n}} \quad \#(1)$$

Mario (2018) ainda afirma que essa medida é frequentemente preferida em relação à média aritmética ao lidar com razões ou porcentagens para evitar a distorção que pode ser causada por valores muito altos ou muito baixos. Sendo assim, isto foi considerado pois a média geométrica busca atenuar o impacto de valores extremos, fazendo que ela seja uma medida mais representativa de dados que possam ter grandes variações. Não permitindo que um critério que tenha uma resposta com nota baixa e outra com nota elevada fique tendencioso a valores elevados.

Ainda foram definidas cinco categorias a serem consideradas, sendo relacionadas com os cinco possíveis níveis de inovação conforme apresentado na literatura do presente trabalho. Os cinco níveis de inovação e das categorias consistem em avançado, gerenciado, intermediário, básico e convencional. Logo, as categorias são definidas e apresentadas na Figura 6.

C1	Avançado
C2	Gerenciado
C3	Intermediário
C4	Básico
C5	Convencional

Figura 6 - Categorias do método.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Neste sentido, define-se cinco perfis para o método, são eles b_4 , b_3 , b_2 e b_1 . Na Figura 7 foi estruturado as categorias do método usando os perfis dos limites.

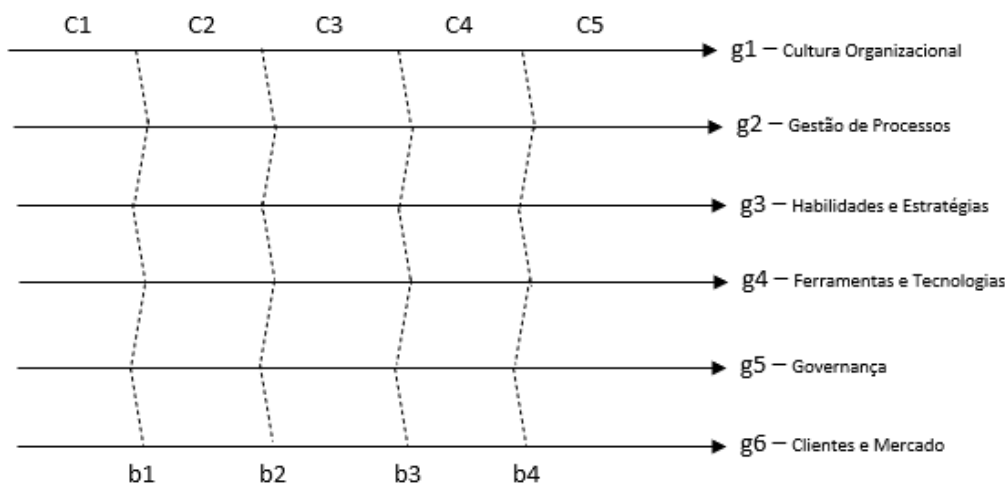


Figura 7 - Categorias do método utilizando limites de perfis.
Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Além disso, Figueira & Roy (2002) explicam que compreender as preferências dos decisores e atribuir pesos aos critérios são desafios significativos na elaboração de um método de suporte à decisão. Neste pressuposto, o peso foi distribuído igualmente para todos os critérios do método, conforme mostra a Equação 2.

$$w_i = \frac{1}{6} = 0,167 \#(2)$$

Logo, o peso atribuído (w_i) é de 0,167 para cada critério do método. Quanto ao nível de corte, define-se como sendo $\lambda = 1$, isto porque busca garantir que o desempenho mínimo seja obtido em todos os critérios. Esse valor definido para λ tem como objetivo assegurar que o desempenho de uma alternativa em cada critério seja pelo menos igual ao limite inferior da categoria na qual a alternativa foi classificada no processo pessimista (Mousseau, Slowinski & Zielniewicz, 2000). Em relação, aos limites de preferência $p_j(b_h)$, de indiferença $q_j(b_h)$ e o veto $v_j(b_h)$ define-se conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Limites de preferência, indiferença e de veto do método.

Limiares p e q e v						
	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5	g_6
p_j	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
q_j	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
v_j	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

O limite de preferência foi definido como sendo igual a 1,00, isto serve para garantir que uma alternativa seja considerada pelo menos tão boa quanto o perfil de referência com o qual está sendo comparada. Além disso, admite-se o limite de indiferença igual a 0,5, pois onde pequenas diferenças no desempenho entre duas alternativas não são consideradas significativas. Isso ajuda a evitar que o modelo seja excessivamente sensível a variações mínimas, o que poderia levar a conclusões pouco robustas. Isso garante que o modelo seja útil e prático para os tomadores de decisão.

Além disso, um limiar de veto de 2,0 indica uma diferença significativa entre alternativas. Isso significa que, se uma alternativa tem um desempenho muito inferior a outra em um critério específico, ela pode ser vetada, mesmo que tenha bom desempenho em outros critérios. O veto impede que uma alternativa com um desempenho extremamente ruim em um critério importante seja considerada aceitável apenas porque tem bom desempenho em outros critérios. Sendo assim, a partir da definição dos valores pode-

se então realizar os passos da aplicação do método ELECTRE TRI.

Aplicação do método ELECTRE TRI

Esta seção detalha as simulações realizadas com base nos dados coletados das quinze organizações que testaram o método. O objetivo dessas simulações foi utilizar dados reais para exemplificar o método ELECTRE TRI. Neste sentido, na Tabela 6 é apresentada a matriz de decisão do método, onde os valores dos perfis e os pesos de cada critério são expostos.

Tabela 6 - Matriz de decisão do método.

Matriz de Decisão						
	Cultura Organizacional (<i>g</i> ₁)	Gestão de Processos (<i>g</i> ₂)	Habilidades e Estratégias (<i>g</i> ₃)	Ferramentas e Tecnologias (<i>g</i> ₄)	Governança (<i>g</i> ₅)	Clientes e Mercado (<i>g</i> ₆)
Perfil (<i>b</i> ₁)	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
Perfil (<i>b</i> ₂)	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Perfil (<i>b</i> ₃)	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Perfil (<i>b</i> ₄)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Peso (<i>w</i> _{<i>i</i>})	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Como mostra na tabela, os perfis foram atribuídos do menor para o maior, isto é, *b*₁ igual a 4,0 para cada critério, e *b*₄ igual a 1,0, isto ajuda a construir uma estrutura hierárquica clara e lógica para a classificação das alternativas. Pois, os perfis com valores decrescentes facilitam a identificação de níveis distintos de desempenho, tornando mais fácil comparar as alternativas e entender sua classificação em diferentes categorias. De tal modo que, usar valores iguais para cada critério dentro dos perfis garante que cada critério tenha a mesma influência no processo de classificação. Isso assegura que a avaliação das alternativas seja consistente e justa, sem favorecer um critério sobre os outros sem justificativa clara. Assim como, definir pesos iguais ajuda a minimizar o viés subjetivo que pode surgir ao tentar determinar a importância relativa de cada critério.

Tabela 7 - Conjunto de alternativas a partir dos critérios.

	Cultura Organizacional (<i>g</i> ₁)	Gestão de Processos (<i>g</i> ₂)	Habilidades e Estratégias (<i>g</i> ₃)	Ferramentas e Tecnologias (<i>g</i> ₄)	Governança (<i>g</i> ₅)	Clientes e Mercado (<i>g</i> ₆)
<i>A</i> ₁	3,464	2,000	3,464	4,000	3,464	3,162
<i>A</i> ₂	2,828	2,000	3,000	3,000	3,464	2,449
<i>A</i> ₃	4,000	2,828	4,472	4,472	4,472	3,464
<i>A</i> ₄	4,000	2,449	4,472	4,000	4,472	4,472
<i>A</i> ₅	2,000	1,414	2,449	1,414	2,449	2,000
<i>A</i> ₆	3,464	2,449	3,464	2,449	4,000	4,000
<i>A</i> ₇	2,000	1,000	2,000	1,414	1,414	2,449
<i>A</i> ₈	4,472	3,873	3,464	3,464	5,00	3,464
<i>A</i> ₉	3,464	3,464	2,236	3,464	3,464	4,472
<i>A</i> ₁₀	1,414	1,000	2,449	1,414	1,414	2,449
<i>A</i> ₁₁	3,000	1,414	3,464	4,472	3,873	3,162
<i>A</i> ₁₂	2,000	1,414	3,000	2,449	2,449	2,449

A_{13}	3,464	2,828	4,472	5,000	3,873	4,472
A_{14}	1,414	2,449	2,449	1,732	2,000	1,732
A_{15}	1,414	3,000	1,414	1,414	2,000	3,000

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Ao obter as respostas dos questionamentos referentes as situações, foi realizado o cálculo da média geométrica para cada bloco, e assim, foi possível atribuir valores para cada critério a cada alternativa. Conforme é apresentado na Tabela 7.

Ao obter todos os dados e preencher a planilha, que foi estruturada como ferramenta de avaliação de maturidade de inovação em processos de empresas industriais, seguiu-se os cinco passos. E assim, encontrou as relações de preferência do método, para cada alternativa, sendo apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Relações de preferências das empresas parceiras.

	b_1	b_2	b_3	b_4
A_1	b_hSA_1	b_hSA_1	A_1Rb_h	A_1Sb_h
A_2	b_hSA_2	b_hSA_2	b_hSA_2	A_2Sb_h
A_3	b_hSA_3	b_hSA_3	A_3Sb_h	A_3Sb_h
A_4	b_hSA_4	b_hSA_4	A_4Rb_h	A_4Sb_h
A_5	b_hSA_5	b_hSA_5	b_hSA_5	b_hSA_5
A_6	b_hSA_6	b_hSA_6	A_6Rb_h	A_6Sb_h
A_7	b_hSA_7	b_hSA_7	b_hSA_7	b_hSA_7
A_8	b_hSA_8	A_8Rb_h	A_8Sb_h	A_8Sb_h
A_9	A_9Rb_h	A_9Rb_h	A_9Rb_h	A_9Sb_h
A_{10}	b_hSA_{10}	b_hSA_{10}	b_hSA_{10}	b_hSA_{10}
A_{11}	b_hSA_{11}	b_hSA_{11}	$A_{11}Rb_h$	$A_{11}Rb_h$
A_{12}	b_hSA_{12}	b_hSA_{12}	b_hSA_{12}	$A_{12}Rb_h$
A_{13}	b_hSA_{13}	$A_{13}Rb_h$	$A_{13}Sb_h$	$A_{13}Sb_h$
A_{14}	b_hSA_{14}	b_hSA_{14}	b_hSA_{14}	b_hSA_{14}
A_{15}	b_hSA_{15}	$A_{15}Rb_h$	$A_{15}Sb_h$	$A_{15}Sb_h$

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Após estabelecer as relações de preferência entre as alternativas e os perfis das categorias, é possível finalmente ordenar as alternativas. Os resultados dessa ordenação são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultado da categorização das alternativas das empresas parceiras.

	Procedimento Otimista	Procedimento Pessimista
A_1	C3	C4
A_2	C4	C4
A_3	C3	C3
A_4	C3	C4
A_5	C5	C5
A_6	C3	C4
A_7	C5	C5

A_8	C2	C3
A_9	C3	C4
A_{10}	C5	C5
A_{11}	C3	C5
A_{12}	C4	C5
A_{13}	C2	C3
A_{14}	C5	C5
A_{15}	C2	C3

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Examinando os resultados da categorização na Tabela 8 alguns pontos se destacam. O primeiro deles é que o procedimento otimista produziu resultados consideravelmente diferentes em comparação com a categorização obtida pelo procedimento pessimista. Além disso, o procedimento otimista tende a ser mais permissivo, classificando as alternativas em categorias mais altas quando elas atendem a pelo menos um critério da categoria superior. Em contraste, o procedimento pessimista é mais rigoroso, exigindo que as alternativas atendam a todos os critérios da categoria para serem classificadas nela. Sendo assim, no procedimento pessimista nenhuma alternativa foi classificada na categoria C1 e C2, isto é, nenhuma organização possui nível de inovação avançada e/ou gerenciada, respectivamente.

Ao realizar uma comparação geral entre as alternativas, é possível notar que as empresas 2, 3, 5, 7, 10 e 14 permaneceram no mesmo nível. As categorizações pelo procedimento otimista e pessimista são idênticas, indicando consistência no desempenho dessas alternativas independentemente do método de avaliação. Contudo, a empresa 2 está alocada no nível básico, C4. A empresa 3 está alocada no nível intermediário, C3. E as empresas 5, 7, 10 e 14 consistentemente categorizadas como C5, isto é, nível convencional (a pior categoria), sugerindo que essas alternativas apresentam um baixo nível de maturidade em inovação de processos. Neste sentido, todos os limites superam a alternativa, tornando essas empresas no nível mais inferior do método.

Na Figura 8 é apresentada a análise, a categorização, os níveis de inovação e a descrição desses níveis com relação a empresa 1. A alternativa 1 (empresa 1) é avaliada como incomparável a b_3 , e não supera o limite b_4 , pois na verdade o limite b_4 supera a alternativa 1, no procedimento otimista. O que resulta na classificação da empresa no nível C3, ou seja, a empresa possui nível intermediário de inovação. E no procedimento pessimista, a alternativa é incomparável a b_4 , logo é classificada no nível C4, indicando que a empresa está no nível básico. Neste caso, o procedimento pessimista avalia a empresa com um nível inferior comparado ao procedimento otimista.

Empresa			Otimista	Pessimista
A1	C3	Intermediári	Há uma padronização dos processos, porém falta planejamento adequado e de tecnologias habilitadoras pode ter um impacto significativo na gestão dos processos. Utiliza-se algumas tecnologias da I4.0 para auxiliar na gestão da empresa de maneira significativa. É implementado a cultura organizacional de forma proativa. A empresa percebe a necessidade de oferecer cursos e disseminar a importância de inovação, mas existe pouco planejamento. Existe algumas deficiências na integração e	Inicia-se o processo formal de implantação dos processos e há um conhecimento sobre alguns processos que está sendo dissipado internamente, por isso, a gestão de processos é pouca.
				Há pouca ou nenhuma tecnologia adequada para obter a revolução digital, mas inicia-se a criação de um fluxo de dados o que favorece um monitoramento das atividades. A organização começa a resolver os problemas da I4.0 dentro de um ou dois departamentos. Inicia-se a disseminação de valores e normas na empresa.
			C4	Básico

Análise

Para garantir que a empresa alcance todos os critérios sugere-se que utilize-se o método pessimista. Logo, a empresa é classificada no nível C4, isto é, nível básico. O processo formal de implantação dos processos está começando, e há um conhecimento sobre alguns processos que está sendo disseminado internamente, resultando em uma gestão de processos limitada. A organização possui pouca ou nenhuma tecnologia adequada para alcançar uma revolução digital completa, mas está iniciando a criação de um fluxo de dados que facilita o monitoramento das atividades. A empresa começa a enfrentar os desafios da Indústria 4.0 dentro de um ou dois departamentos específicos. Além disso, a disseminação de valores e normas na empresa está começando.

SUGESTÃO: Sugere-se como melhorias o desenvolvimento de um plano de ação detalhado para a implementação dos processos, garantindo que todos os passos necessários sejam seguidos e monitorados; Estabelecer uma gestão de processos mais robusta, incluindo treinamento específico para os colaboradores e a definição clara de responsabilidades; Investir em tecnologias da Indústria 4.0, como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial (IA) e big data, para digitalizar e automatizar os processos; Implementar sistemas integrados que permitam a comunicação entre diferentes departamentos, facilitando a troca de informações e a tomada de decisões baseada em dados.

Figura 8 - Procedimento pessimista e otimista da empresa 1.

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Neste sentido, as alternativas 1, 4 e 6 são classificadas uma categoria abaixo no procedimento pessimista (C3 – nível intermediário) em comparação ao otimista (C4 – nível básico), indicando que essas alternativas falham em atender a todos os critérios de uma categoria superior no método pessimista. Logo, essas empresas precisam melhorar consistência e para atender a todos os critérios é essencial para subir de C4 para C3. A alternativa 2 (empresa 2) é consistentemente avaliada como inferior às fronteiras até b_4 em ambos os procedimentos, resultando em C4, isto é, nível básico de inovação.

Ao observar a Tabela 8, observa-se que as empresas 8, 13 e 15 são classificadas no nível gerenciado (C2) no procedimento otimista e no nível intermediário (C3) no procedimento pessimista, sugerindo que esses processos possuem algumas áreas de força, mas não são suficientemente consistentes para atingir uma categoria mais alta no método mais rigoroso. Sendo assim, sugere-se que essas alternativas têm potencial para serem melhores, mas falham em consistência ou em atender a todos os critérios de maneira uniforme.

Deste modo, as alternativas 11 e 12 estas alternativas são classificadas mais baixas pelo procedimento pessimista (C5) em comparação ao otimista (C3 para A11 e C4 para A12), sugerindo que estas alternativas falham em atender consistentemente os critérios de categorias mais altas. De tal modo que, as empresas A11 e A12 apresentam uma análise detalhada dos critérios que levam ao rebaixamento para C5 sob o método pessimista ajudará a identificar áreas críticas que precisam de melhorias imediatas. Assim, todas as empresas que foram consistentemente categorizadas como C5 precisam de intervenções significativas para melhorar seu nível de inovação.

Estas análises ajudam a identificar pontos fortes e fracos em cada alternativa, permitindo uma abordagem direcionada para melhorar o nível de maturidade em inovação de processos. O procedimento pessimista, sendo mais rigoroso, destaca áreas onde as alternativas falham em atender aos critérios de forma consistente, enquanto o otimista identifica potenciais pontos fortes que podem ser desenvolvidos.

Considerações finais

Este artigo teve como objetivo principal a criação um método sistemático e estruturado que auxilie empresas, especialmente as de pequeno e médio porte, a diagnosticar, monitorar e aprimorar suas

capacidades de inovação. A primeira etapa do artigo consistiu em uma extensa revisão da literatura sobre modelos de maturidade em inovação, frameworks existentes e métodos de avaliação. Estudos e referências teóricas foram analisados para identificar critérios relevantes e indicadores de inovação. Deste modo, foram analisados os modelos de maturidade de inovação de Carolis et al. (2017), Fraser, Moultrie & Gregory (2002) e Röglinger, Pöppelbuß & Becker (2012) a partir dos quais identificou-se semelhanças e diferenças existentes. Com a análise dos modelos, sugeriu-se um método adaptado pelos autores para a medição dos níveis de inovação, levando em consideração especificidades de empresas de pequeno e médio porte.

Após a definição do método de avaliação, desenvolveu-se uma ferramenta que incluiu um conjunto de critérios e indicadores distribuídos em diferentes dimensões de inovação, tais como cultura organizacional, gestão de processos, habilidades e estratégias, ferramentas e tecnologias, governança, clientes e mercado. Diante disto, obteve-se dados de questionários submetidos pelas empresas para realizar a análise de diversas opções de modo a permitir a comparação das empresas de acordo com a capacidade de inovação.

De maneira original aplicou-se o método ELECTRE TRI para classificar as empresas de acordo com os níveis de inovação. O método mostrou-se adequado para a identificação das opções mais favoráveis onde é necessário comparar e priorizar diversas alternativas em um processo de tomada de decisão, categorizando as alternativas de inovação em diferentes níveis de maturidade.

Portanto, a ferramenta desenvolvida é constituída de: i) de critérios e indicadores de inovação; ii) estrutura para obtenção dos dados; iii) adequação do método ELECTRE TRI para a classificação das empresas em cada nível de inovação definido (Convencional, Básico, Intermediário, Gerenciado, Avançado); iv) coleta dos dados; v) obtenção da matriz de decisão com o método ELECTRE TRI; vi) categorização das alternativas; vii) análise das alternativas.

Como resultado, visualizou-se que a categorização pessimista tende a alocar alternativas em categorias mais baixas (mais rigorosas), enquanto a categorização otimista é menos rigorosa, refletindo uma avaliação menos conservadora. Como recomendação do uso da ferramenta, sugere-se o uso da prioritário da categorização pessimista, pois, de acordo com Mousseau, Slowinsk & Zielniewickz (2000), a adoção do nível de corte igual 1, como foi realizada nesta aplicação, garante que a designação de uma empresa a uma dada categoria ocorre somente se sua avaliação for igual ou maior que os limites de cada critério. Cabe destacar que a flexibilização do nível de corte pode gerar uma abordagem mais adaptável e menos rígida na categorização das alternativas. Isso pode ser vantajoso em situações em que se deseja um incentivo para melhorar e inovar, proporcionando um reconhecimento mais acessível das melhorias realizadas pelas alternativas. No entanto, para abordagem proposta, optou-se pela categorização mais conservadora, visando garantir que as empresas atendem o desempenho mínimo em cada critério.

A ferramenta foi testada com o uso de dados obtidos em ambiente industrial. Tais dados foram coletados para ajustar a ferramenta e verificar sua eficácia em diferentes contextos organizacionais. Os dados obtidos foram analisados para identificar padrões e insights sobre o nível de maturidade em inovação. O resultado foi exemplificado para a empresa 1, apresentando a análise, a categorização, os níveis de inovação e a descrição desses níveis com relação a empresa. Espera-se que a adoção desta ferramenta contribua significativamente para o fortalecimento das práticas de inovação nas empresas de pequeno e médio porte, promovendo sua maior competitividade e sustentabilidade no mercado.

Neste artigo, a utilização de planilhas avançadas em Excel facilitou a implementação inicial da ferramenta, permitindo que seja posteriormente convertida em um aplicativo de software para facilitar o uso e a aplicação por empresas para avaliar o seu grau de maturidade em seus processos.

Referências

- Almeida, A. T., Cavalcante, C. A. V., Alencar, M. H., Ferreira, R. J. P., & Ferreira, L. (2015). *Multicriteria and multiobjective models for risk, reliability and maintenance decision analysis*. Springer International Publishing.
- Ahmed, P., & Shepherd, C. D. (2010). *Innovation management: Context, strategies, systems and processes*. Pearson.
- Akdil, K.Y., Ustundag, A., Cevikcan, E. (2018). Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy. In: *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*. Springer Series in Advanced Manufacturing. Springer, Cham.
- Asdecker, B., & Felch, V. (2018). Development of an Industry 4.0 maturity model for the delivery process in supply chains. *Journal of Modelling in Management*, 13(4), 840–883 .
- Caiado, R. G. G., Scavarda, L. F., Gavião, L. O., Ivson, P., Nascimento, D. L. de M., & Garza-Reyes, J. A. (2021). A fuzzy rule-based Industry 4.0 maturity model for operations and supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 231, 107883.
- De Carolis, A., Macchi, M., Kulvatunyoo, B., Brundage, M. P., & Terzi, S. (2017). Maturity models and tools for enabling smart manufacturing systems: Comparison and reflections for future developments. In J. Ríos, A. Bernard, A. Bouras, & S. Foufou (Eds.), *Product lifecycle management and the industry of the future* (Vol. 517, pp. 273–284). Springer.
- Certa, A., Enea, M., Galante, G., & Mauri, M. (2017). ELECTRE TRI-based approach to the failure modes classification on the basis of risk parameters: An alternative to the risk priority number. *Computers & Industrial Engineering*, 108, 100-110.
- Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204, 383–394.
- De Giovanni, P. (2019). Digital Supply Chain through Dynamic Inventory and Smart Contracts. *Mathematics*, 7(12), 1235.
- Denardin, É. S., Murini, L. T., Duarte, T. L., Medeiros, F. S. B., Dill, L. M. S., & Denardin, E. F. (2012). Os tipos de inovações implementadas nos empreendimentos de economia solidária do projeto Esperança/Coesperança de Santa Maria-RS. *Revista de Administração da Universidade Federal de Santa Maria*, 5, 651–666.
- Dias, L. C., & Mousseau, V. (2006). Inferring Electre's veto-related parameters from outranking examples. *European Journal of Operational Research*, 170(1), 172–191.
- Dyer, J. S., Fishburn, P. C., Steuer, R. E., Wallenius, J., & Zionts, S. (1992). Multiple Criteria Decision Making, Multiattribute Utility Theory: The Next Ten Years. *Management Science*, 38(5), 645–654.
- Greco, S., Ehrgott, M., & Figueira, J. R. (Eds.). (2016). *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys* (International Series in Operations Research & Management Science). Springer New York, NY.
- Figueira, J., & Roy, B. (2002). Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simos' procedure. *European Journal of Operational Research*, 139(2), 317–326.
- Fontana, M. E., & Nepomuceno, V. S. (2017). Multi-criteria approach for products classification and their storage location assignment. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 88, 3205–3216.
- 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, 15–26.
- Fraser, P., Moultrie, J., & Gregory, M. (2002). The use of maturity models/grids as a tool in assessing product development capability. In *IEEE International Engineering Management Conference* (Vol. 1, pp. 244–

249). IEEE.

Galo, N. R. (2018). Proposta de método de decisão para avaliação de fornecedores baseado no ELECTRE TRI para categorização e na teoria dos conjuntos fuzzy para a modelagem da incerteza e hesitação de múltiplos tomadores de decisão (Tese de doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo.

Ganzarain, J., & Errasti, N. (2016). Método de maturidade em três estágios em PMEs rumo à indústria 4.0. *Revista de Engenharia e Gestão Industrial (JIEG)*, 9.

Gonçalves, A. T. P., Araújo, M. V. P. de, Mól, A. L. R., & Rocha, F. A. F. da. (2021). Application of the ELECTRE TRI method for supplier classification in supply chains. *Pesquisa Operacional*, 41, e229708.

Gökalp, E., Şener, U., & Eren, P. E. (2017). Development of an assessment model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM. In A. Mas, A. Mesquida, R. O'Connor, T. Rout, & A. Dorling (Eds.), *Software process improvement and capability determination: SPICE 2017* (Vol. 770, pp. 103–111). Springer.

Korhonen, P., Moskowitz, H., & Wallenius, J. (1992). Multiple criteria decision support – A review. *European Journal of Operational Research*, 63(3), 361–375.

LICHTBLAU, K. et al. *IMPULS, Industry 4.0 readiness*. Impuls-Stiftung des VDMA, Aachen-Köln, 2015.

McNally, R. C., & Schmidt, J. B. (2011). From the special issue editors: An introduction to the special issue on decision making in new product development and innovation. *Journal of Product Innovation Management*, 28, 619–622.

Melendez, K. A., Dávila, A., & Melgar, A. (2019). Literature Review of the Measurement in the Innovation Management. *Journal of Technology Management & Innovation*, 14(2), 81–87.

Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., & Wuest, T. (2018). A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). *Journal of Manufacturing Systems*, 49, 194–214.

Moreira, M. J. B. M. (2010). *Contribuições aos métodos de maturidade em gestão por processos e de excelência na gestão utilizando o PEMM e o MEG* (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-graduação em Sistemas de Gestão, Universidade Federal Fluminense.

Mousseau, V., Figueira, J., & Naux, J.-P. (2001). Using assignment examples to infer weights for ELECTRE TRI method: Some experimental results. *European Journal of Operational Research*, 130(2), 263–275.

Mousseau, V., Slowinski, R., & Zielniewicz, P. (2000). A user-oriented implementation of the ELECTRE-TRI method integrating preference elicitation support. *Computers & Operations Research*, 27(7–8), 757–777.

Naeini, A. B., Zamani, M., Daim, T. U., Sharma, M., & Yalcin, H. (2022). Conceptual structure and perspectives on “innovation management”: A bibliometric review. *Technological Forecasting and Social Change*, 185, 122052.

Niewöhner, N., Asmar, L., Röltgen, D., Kühn, A., & Dumitrescu, R. (2020). The impact of the 4th industrial revolution on the design fields of innovation management. *Procedia CIRP*, 91, 43–48.

OCDE. (1997). *OECD proposed guideline for collecting and interpreting technological innovation data* (3rd ed.). Paris: OECD.

Pessl, E., Sorko, S. R., & Mayer, B. (2017). Roadmap Industry 4.0 – Implementation guideline for enterprises. *International Journal of Science, Technology and Society*, 5(6), 193–202.

Pietronudo, M. C., Croidieu, G., & Schiavone, F. (2022). A solution looking for problems? A systematic literature review of the rationalizing influence of artificial intelligence on decision-making in innovation

management. *Technological Forecasting and Social Change*, 182, 121828.

Röglinger, M., Pöppelbuß, J., & Becker, J. (2012). Maturity models in business process management. *Business Process Management Journal*, 18(2), 328–346.

Roy, B. (1990). Decision-aid and decision-making. *European Journal of Operational Research*, 45(2–3), 324–331.

Roy, B., & Slowiński, R. (2013). Questions guiding the choice of a multicriteria decision aiding method. *EURO Journal on Decision Processes*, 1(1–2), 69–97.

Saaty, T. L. (2000). *Fundamentals of decision making and priority theory* (Analytic Hierarchy Process Series, Vol. 6). RWS Publications.

Santos Bento, G. dos, & Tontini, G. (2018). Developing an instrument to measure lean manufacturing maturity and its relationship with operational performance. *Total Quality Management & Business Excellence*, 29(9–10), 977–995.

Santos, M. A. P. C. (2009). *Maturidade de processos organizacionais: Um estudo em uma indústria multinacional do setor de soldagem* (Dissertação de Mestrado). Universidade Fumec.

Tangpong, C. (2011). Content analytic approach to measuring constructs in operations and supply chain management. *Journal of Operations Management*, 29(6), 627–638.

Tidd, J., & Bessant, J. R. (2020). *Managing innovation: Integrating technological, market and organizational change*. John Wiley & Sons.

Zhang, H. (2022). Does combining different types of innovation always improve SME performance? An analysis of innovation complementarity. *Journal of Innovation & Knowledge*, 7(3), 100192.