



Procedimento de priorização de indicadores para projetos Kaizen baseado em método multicritério

Indicator raking procedure for Kaizen projects based on multicriteria method

Recebido: 18 fev. 2022

Aprovado: 09 jun. 2022

Versão do autor aceita publicada online: 09 jun. 2022

Publicado online: 12 ago. 2022

Como citar esse artigo - American Psychological Association (APA):

Rodrigues, M. R., Filleti, R. A. P., Oliveira, M. C., & Helleno, A. L. (abr./jun. 2024). Procedimento de priorização de indicadores para projetos Kaizen baseado em método multicritério. *Exacta*, 22(2), p. 434-461. <https://doi.org/10.5585/exactaep.2022.21661>

Submeta seu artigo para este periódico

Processo de Avaliação: *Double Blind Review*

Editor: Dr. Luiz Fernando Rodrigues Pinto



Dados Crossmark



PROCEDIMENTO DE PRIORIZAÇÃO DE INDICADORES PARA PROJETOS KAIZEN BASEADO EM MÉTODO MULTICRITÉRIO

INDICATOR RAKING PROCEDURE FOR KAIZEN PROJECTS BASED ON MULTICRITERIA METHOD



Marcos Rogério Rodrigues



Remo Augusto Padovezi Filleti²



Maria Célia de Oliveira¹e



André Luís Helleno²

¹ Doutora em Engenharia de Produção. Universidade Presbiteriana Mackenzie / São Paulo, SP – Brasil

² Universidade Presbiteriana Mackenzie / São Paulo, SP – Brasil

Nota dos autores

Autores declaram que não há conflito de interesses.

Agradecimentos: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES



Resumo

O método Kaizen tem como objetivo principal a redução dos custos operacionais por meio da melhoria contínua. Apesar da importância do uso dessa técnica, os resultados obtidos a partir da implantação de projeto Kaizen podem ser limitados, caso não haja um alinhamento entre seus objetivos e as diretrizes da empresa. Para superar essa possível adversidade, o presente estudo propõe um procedimento para classificar projetos Kaizen por meio da priorização de seus indicadores, a partir do método multicritério *Analytic Hierarchy Process* (“Processo Analítico Hierárquico”, em português). Uma vez definido e estruturado o procedimento, ele foi aplicado por meio de um estudo de caso em uma empresa do ramo de máquinas e equipamentos da região de Campinas. Durante a realização do estudo de caso, três líderes de produção foram entrevistados para que avaliassem cinco projetos Kaizen diferentes em relação a quatro indicadores globais da empresa: Pessoal, Qualidade, Velocidade e Financeiro. A partir das avaliações individuais de cada líder para cada projeto, lançou-se mão de um método agregativo (i.e., média geométrica) para unificar os resultados de cada projeto e, assim, classificá-los de acordo com a aderência de cada um deles aos indicadores globais estudados.

Palavras-chaves: Kaizen, análise de decisão multicritério, AHP, KPI

Abstract

The main objective of Kaizen method is to reduce operating costs through continuous improvement. Despite the importance of this technique, the results obtained from its implementation may be limited if the implementation of Kaizen projects is not well alignment with company's guidelines. To address this issue, the present study proposes a procedure to classify Kaizen projects by prioritizing their indicators, using the multicriteria Analytic Hierarchy Process method. Once the procedure was defined and structured, it was employed in a case study for a machinery/equipment company at Campinas region - Brazil. During the case study's implementation, three shop-floor leaders were interviewed to evaluate five different Kaizen projects regarding four global indicators of the company: People, Quality, Velocity and Finance. Based on the individual evaluations of each leader

for each project, an aggregative method (i.e., geometric mean) was applied to unify the results for each project and, thus, classify them according to their adherence to the company's global indicators.

Keywords: Kaizen, multiple-criteria decision analysis, AHP, KPI

Introdução

A manutenção da competitividade de uma empresa em um mercado cada vez mais integrado e global é um dos maiores desafios enfrentados hoje por gestores no mundo todo. Nesse contexto, uma gestão das operações eficientes que busquem a melhoria contínua dos processos é fundamental. De acordo com Slack, Chambers, Harland, Harrison e Johnston (2009), não incentivar o processo de melhoria contínua em uma empresa vai além de uma desvantagem competitiva apenas, uma vez que prejudica o atendimento das necessidades dos consumidores, resultando no distanciamento entre as operações e os objetivos da organização.

Dentre as diferentes ferramentas voltadas à melhoria dos processos em empresas (e.g., Análise de Pareto, 5S, Kaizen, Diagrama de Ishikawa e o Jidoka), o Kaizen se destaca (Womack & Jones, 2003; Wu, Xu & Xu, 2016; Belekoukias, Garza-Reyes & Kumar, 2014). Segundo Imai (1986), a palavra “Kaizen” possui origem japonesa e representa uma caracterização ampla de melhoria contínua, podendo assumir diferentes propósitos e normalmente implementada por meio de projetos.

A priorização e seleção dos projetos Kaizen é uma etapa importante que influencia diretamente nos resultados dos indicadores da empresa. Segundo Bhushan e Rai (2004), a tomada de decisão passa, frequentemente, por um processo de seleção entre diversas oportunidades/alternativas. Quando isso ocorre, a existência de meios que possibilitem a identificação das alternativas mais benéficas e/ou apropriadas para a execução é fundamental.

Assim, os tomadores de decisão, responsáveis pela seleção das ações a serem executadas, devem usar técnicas que permitam priorizar os projetos que contribuam efetivamente para a organização, de acordo com as diretrizes e critérios já estabelecidos. Nesse sentido, métodos

MÉTODO MULTICRITÉRIO



multicritérios de apoio à tomada de decisão, tal como o *Analytic Hierarchy Process* – AHP (“Processo Analítico Hierárquico” em português), se apresentam como ferramentas valiosas para esse fim.

Atualmente, o uso do AHP relacionado a implementação de projetos Kaizen em empresas se dá no lado da demanda, ou seja, a ferramenta é usada para identificar se há necessidade ou não da execução desses tipos de projetos (Prasetyaningsih, Muhamad & Amolina, 2020; Amin, Mahmood & Kamat, 2019; Nurcahyo, Apriliani, Muslim & Wibowo, 2019; Silbert, 2019; Al-Aomar & Hussain, 2019). A partir dessa constatação, verificou-se que há uma carência de estudos que lançam mão da ferramenta no lado da oferta, ou seja, que ajudem a classificar, dentro de um portfólio de opções de projetos Kaizen, aqueles que possuem mais aderência às demandas identificadas. Em um contexto de recursos limitados (i.e., tempo, mão-de-obra e capital financeiro), é fundamental que uma empresa tenha meios de escolher, entre uma lista de opções, os projetos de melhoria contínua que mais impactam positivamente seus indicadores de desempenho, maximizando, assim, seus resultados.

O presente trabalho explora essa lacuna e propõe, a partir do método AHP, o desenvolvimento de um procedimento para classificar os projetos de melhoria contínua por meio da priorização de seus indicadores, aplicando-o, logo depois, em um estudo de caso para uma empresa de manufatura de máquinas e equipamentos.

O resto do trabalho está organizado como se segue. O segundo capítulo apresenta o referencial teórico com ênfase nos conceitos básicos desta pesquisa, o Kaizen e o AHP. O terceiro capítulo introduz os materiais e métodos usados no trabalho. No quarto capítulo, são apresentados os resultados da pesquisa e a discussão destes. Por fim, o capítulo 5 fornece as considerações finais da pesquisa.

Referencial Teórico

Kaizen é um termo japonês que significa “mudança para melhor”, formado pela combinação de dois ideogramas japoneses, Kai (改) - mudança e Zen (善) - melhor. Essa prática é um conceito abrangente (“conceito guarda-chuva”) para uma filosofia da gestão baseada em um conjunto de

princípios e valores fundamentais para a implementação da melhoria contínua, tais como (IMAI, 1986, 1997):

- Compromisso e liderança da alta administração;
- Foco em processos;
- Gestão de melhorias do *Gemba* (local onde as coisas acontecem);
- Participação das pessoas;
- Abordagem sem julgamento e sem culpa;
- Padronização, disciplina e constância;
- Habilidades de experimentação e observação;
- Pensamento sistêmico.

De acordo com Smadi (2009), muitas empresas que implementaram o Kaizen apresentaram resultados favoráveis em relação à redução de custos e à melhoria na competitividade. Segundo Glover, Farris e Van Aken (2014), as melhorias geradas pela aplicação do Kaizen nas empresas vão além dos custos e de competitividade, impactando positivamente também os indicadores de qualidade do produto/serviço, tempo de processo e motivação dos funcionários. Brunet e New (2003) destacam o método Kaizen como um elemento chave do sucesso para as empresas de manufatura.

Em um estudo de caso em uma indústria de pequeno porte de manufatura na Índia, Arya e Choudhary (2015) avaliaram que, a partir da aplicação do Kaizen, foi possível reduzir os custos de produção a partir da mitigação de perdas nos processos avaliados. Segundo os autores, o uso do método possibilitou a redução do tempo de acesso ao estoque em inventário em 13%, acarretando a economia com custos de mão-de-obra; a otimização de layout, reduzindo em 44% de deslocamento entre as células para coleta de componentes e 85% do tempo de ciclo; e diminuição da área operacional, gerando economia nos custos variáveis. Em um mercado emergente como o da Índia, essas reduções permitem melhorar a competitividade tanto nacional quanto internacionalmente.

MÉTODO MULTICRITÉRIO



Para Farris, Van Aken, Doolen e Worley (2008), um projeto Kaizen deve ter o seu desenvolvimento e realização por uma equipe multifuncional dedicada, tendo como objetivo aplicar melhorias nos processos de uma determinada área em um curto período. Sanchez, Robert, Bourgault e Pellerin (2009) vão além e salienta que um projeto Kaizen não é isolado das demais práticas de uma empresa e que, portanto, sua formulação e execução deve levar em conta os objetivos das diferentes áreas envolvidas da empresa.

Glover, Farris e Van Aken (2014) sustentam que o Kaizen pode ser importante na melhoria incremental dos processos, por meio de eventos direcionados na evolução de indicadores específicos do processo, tais como indicadores de qualidade, velocidade, tempo, produtividade e motivação dos funcionários.

O tempo e a execução desses eventos podem variar a depender da estrutura da empresa, número de pessoas envolvidas e objetivos. Segundo Liker (2004), um evento Kaizen tem a duração de aproximadamente uma semana e deve contar com a participação do gerente responsável pelo processo a ser melhorado, chamado de “dono do processo”, o qual desempenha o papel de líder junto às pessoas que executam o processo. Além disso, é aconselhável que o evento seja realizado por uma equipe de aproximadamente 15 pessoas, e com a participação de clientes e fornecedores.

Alukal e Manos (2006), por outro lado, defendem um ciclo de oito semanas para a realização de um evento Kaizen eficaz. Nas que três primeiras semanas do evento, a equipe deve se reunir e preparar o projeto. Na quarta semana, a equipe determina o estado atual da área determinada, cria ideias para a melhoria dos processos e implementa, dentre as ideias criadas, as melhores. As demais semanas são usadas para acompanhamento da conclusão das ideias e certificação de que o projeto realmente foi concluído.

Os eventos Kaizen são reconhecidos por estruturar/facilitar a implementação do método Kaizen nas empresas e, conseqüentemente, são parte importante da melhoria contínua das operações. Nesse sentido, é fundamental que a concepção e execução dos eventos Kaizen se

baseiem nos indicadores chave de desempenho que a empresa busca melhorar (Glover, Farris & Van Aken, 2014).

Os indicadores chave de desempenho, mais conhecido como KPI (*“Key Performance Indicator”*, em inglês), são critérios que contêm as principais informações dos processos. Eles definem as métricas de desempenho da empresa de acordo com suas prioridades/objetivos, sendo utilizadas também na definição da estratégia do negócio. Para Lin, Shen, Sun e Kelly (2011), os KPI's são parâmetros utilizados para quantificar a eficiência ou efetividade de ações passadas, sendo essenciais na mensuração do desempenho.

O uso de indicadores de desempenho é comum e muito utilizado em diversos segmentos produtivos. Na indústria, ele é fundamental para o gerenciamento dos processos e na tomada de decisões, sendo necessária uma seleção a respeito de quais indicadores deverão ser usados. Ter informações disponíveis, com qualidade e em tempo hábil a respeito dos processos das empresas é um fator de grande importância para os gestores que procuram assertividade quanto às ações a serem realizadas.

McGinnis (1999) salienta que a maioria dos objetivos do evento Kaizen são mensuráveis e possuem métricas comuns, dentre as quais estão a produtividade, o trabalho em processo - (*“Work in Progress”*, em inglês), o espaço físico, a taxa de transferência, o tempo de entrega, o tempo de configuração, o tempo de viagem parcial, a porcentagem de entrega no prazo, os defeitos, a taxa de produtividade as medidas de desempenho de produto, o preço e a diversidade de linhas de produtos. Esses objetivos dos eventos Kaizen estão alinhados com os KPIs principais da manufatura enxuta.

A execução dos eventos Kaizen devem resultar na escolha de projetos que proporcionam o melhor retorno, em linha com os indicadores de desempenho definidos pela organização. Para que esse resultado seja possível, o tomador de decisão precisa saber previamente como cada projeto levantado durante um evento Kaizen irá impactar cada um dos KPI's da empresa, de modo a decidir

MÉTODO MULTICRITÉRIO



qual ou quais deles deverão ser implementados. Para esse fim, o uso de métodos multicritério como o AHP, pode facilitar muito uma tomada de decisão mais assertiva.

O AHP foi desenvolvido por Thomas Saaty (1980) na década de 80, e consiste em um método de tomada de decisão multicritério fundamentado na avaliação par-a-par de alternativas em termos de importância relativa, de acordo com os critérios estabelecidos, tanto quantitativos quanto qualitativos.

Segundo Vargas (1990), o AHP é uma ferramenta que analisa variáveis quantificáveis e/ou critérios intangíveis para a tomada da decisão e/ou resolução de conflitos. Ela se baseia no princípio de que, na tomada de decisão, o conhecimento/experiência dos envolvidos no processo decisório é tão valioso quanto os dados quantitativos.

Desde sua criação, ele tem sido amplamente utilizado nos mais variados setores da indústria, para os mais variados fins. Stocker, Villar, Roglio e Abib (2018) usaram o AHP para identificar os critérios mais relevantes na tomada de decisão sobre demissões. Dentre os diferentes critérios avaliados, os autores classificaram o compromisso, o histórico de desempenho e a confiança como os elementos de maior impacto nesse tipo de decisão.

Farhan, Tolouei-Rad e Osseiran (2016) lançaram mão do método para auxiliar na escolha dos parâmetros de processo mais adequados para máquinas-ferramenta de finalidades específicas (*“Special Purpose Machines”*, em inglês). Baswaraj S., Sreenivasa Rao e Pawar, (2018) desenvolveram um modelo para tomada de decisão, baseado no AHP, para ser usado na indústria siderúrgica secundária, auxiliando na escolha dos parâmetros do processo de reciclagem de aço, de modo a melhorar a qualidade do produto.

Sousa, Melo, Aquino e Jerônimo (2021) criaram um modelo baseado em AHP de classificação dos fatores críticos para a melhoria do processo produtivo, sob a ótica da Manutenção Produtiva Total (TPM), aplicando-o em seis empresas localizadas na região do Complexo Industrial de Suape. Silva, Shibao, Barbieri, Librantz e Santos (2018) usaram a ferramenta para identificar as barreiras na Gestão da Cadeia de Suprimentos Verde na indústria automotiva.

Há casos também do uso do AHP para a implementação da manufatura enxuta na indústria eletroeletrônica. Kiatcharoenpol, Laosirihongthong, Chaiyawong e Glincha-em (2015) mapearam, para o setor de produção de componentes eletrônicos tailandeses, 12 fatores críticos de sucesso e, por meio do AHP, priorizaram os fatores críticos de sucesso mais relevantes para o setor estudado. Os resultados do estudo identificaram que os recursos tecnológicos eram o fator mais importante no sucesso da implementação da manufatura enxuta do setor.

Em conjunto com o Método Kaizen, o AHP tem sido usado para auxiliar na identificação de possibilidades de melhoria em diferentes situações/processos: na cadeia de suprimentos (Prasetyaningsih, Muhamad & Amolina, 2020; Al-Aomar & Hussain, 2019), gestão da qualidade (Silbert, 2019; Nurcahyo, Apriliani, Muslim & Wibowo, 2019) e cadeia de valor presente e futuro (Amin, Mahmood & Kamat, 2019).

Os procedimentos metodológicos adotados para este trabalho são baseados em uma abordagem descritiva e qualitativa. O método proposto, baseado no AHP, foi aplicado em uma empresa manufatureira, por meio de entrevistas com líderes de uma linha de produção de geradores elétricos. As atividades desenvolvidas nesse trabalho são descritas a seguir.

O AHP baseia-se na decomposição de um problema em uma hierarquia de subproblemas, permitindo uma melhor compreensão dele. Saaty (1990) afirma que o AHP é indicado para a comparação de um número finito de alternativas, de modo que os participantes selecionem somente os fatores que são essenciais para tomar a decisão.

Os passos para a aplicação do método são descritos a seguir:

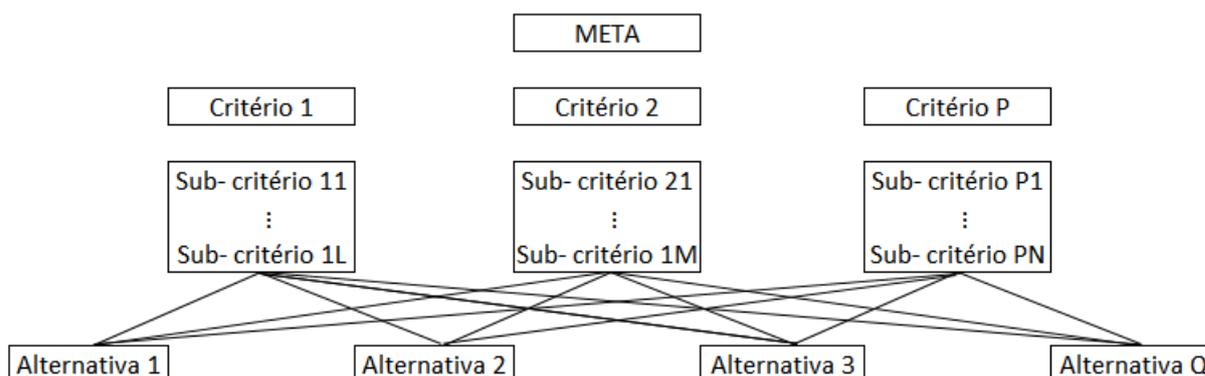
MÉTODO MULTICRITÉRIO



Passo 1: Decomposição do problema com uma hierarquia de objetivos, critérios, subcritérios e alternativas conforme Figura 1:

Figura 1

Estrutura hierárquica genérica



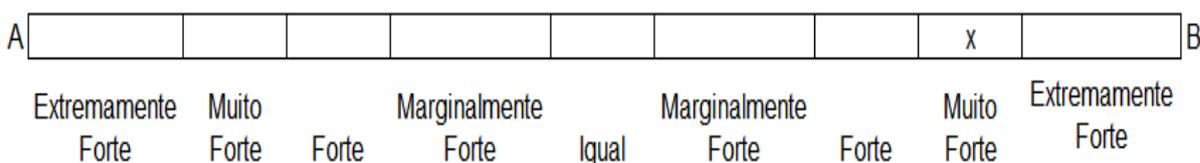
Fonte: Bhushan e Rai (2007).

O uso do AHP se inicia com a decomposição do problema em uma hierarquia de critérios para que seja possível o tomador de decisão fazer uma análise comparativa e independente. Uma vez definida a lógica da hierarquia, realiza-se a comparação par-a-par sistemática das alternativas.

Passo 2: Comparação par-a-par das alternativas, por parte dos entrevistados/tomadores de decisão, os quais podem classificar uma comparação como: igual, marginalmente forte, forte, muito forte e extremamente forte. No caso apresentado pela Figura 2, o “x” indica que B é muito forte quando comparado com A.

Figura 2

Classificação para comparação



Fonte: Bhushan e Rai (2007).

Para além da classificação qualitativa da comparação par-a-par, há também a classificação quantitativa, por meio das relações de conversões apresentadas pela Tabela 1:

Tabela 1

Escala para comparação quantitativa de alternativas

Opções	Valores Numéricos
Igual	1
Marginalmente Forte	3
Forte	5
Muito Forte	7
Extremamente Forte	9
Valores intermediários que refletem as entradas fuzzy	2,4,6,8
Refletindo a dominância da segunda alternativa em comparação com a primeira	Recíprocas

Fonte: Bhushan e Rai (2007)

Passo 3: Os resultados do Passo 2 são organizados em uma Matriz de Comparação (matriz quadrada).

É válido salientar a característica recíproca das comparações par-a-par: se A é 3 vezes mais importante que B, B é 1/3 mais importante que A. Sendo assim, somente metade das comparações são necessárias (diagonal superior da matriz), já que cada elemento da metade restante (diagonal inferior) pode ser calculado como o inverso de seu elemento simétrico.

Passo 4: Após a construção da Matriz de Comparação, ela é normalizada, dividindo cada elemento pela soma das respectivas colunas. A partir da Matriz Normalizada, calcula-se o autovetor, por meio da média aritmética de cada linha da Matriz Normalizada. Cada elemento do vetor representa o peso/importância relativa de cada alternativa avaliada.

Passo 5: Após a finalização da matriz normalizada, deve-se verificar a sua consistência para identificar possíveis contradições nas comparações. As contradições podem ser resultantes de problemas como a definição vaga/pouco precisa da situação; informações insuficientes, incorretas e/ou imprecisas, e falta de conhecimento/foco do decisor.

MÉTODO MULTICRITÉRIO



Para essa avaliação, é necessário calcular o Índice de Consistência (CI) e a Taxa Consistência (CR). O índice de consistência é calculado pela Equação 1:

$$CI = (\lambda_{max} - n)/(n - 1) \quad (1)$$

Tal que, λ_{max} é o máximo autovalor da matriz normalizada e n é o número de alternativas do problema.

Segundo Saaty (2005), para verificar se o valor encontrado do Índice de Consistência (CI) é adequado, é preciso analisar a sua Taxa de Consistência (CR). Ela é determinada pela razão entre o valor do CI e o Índice Randômico – RI (Equação 2):

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0,1 \quad (2)$$

Os valores de RI são fixos, com base no número de critérios/alternativas avaliadas, conforme apresentado pela Tabela 2:

Tabela 2

Índice de consistência aleatória

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Saaty (2005)

A matriz será considerada consistente se o valor de CR for menor que 10%.

Passo 6: Caso a matriz for considerada consistente, calcula-se a relevância de cada alternativa por meio da multiplicação vetorial da matriz normalizada pelo autovetor. A priorização ocorre depois, ordenando de maneira decrescente as alternativas em relação aos seus resultados de relevância (i.e., a alternativa com maior resultado de relevância é a primeira, seguida pela alternativa com o segundo maior resultado de relevância, e, assim, sucessivamente).

Materiais e Métodos

O estudo de caso foi realizado em uma empresa multinacional de grande porte da região de Campinas, os instrumentos e protocolos de pesquisa adotados baseiam-se, em uma pesquisa estruturada com gestores dessa empresa, por meio de entrevistas e questionários.

O fenômeno a ser avaliado na empresa estudada foi o método de escolha de projetos Kaizen. A pesquisa foi conduzida com três líderes do processo de produção de geradores elétricos: um Gerente de Qualidade (líder 1), um Gerente de Operações (líder 2) e um Especialista *Master Black Belt* (líder 3). Os líderes analisaram cinco projetos Kaizen diferentes, dos quais quatro já haviam sido recentemente implementados e um estava em processo de seleção. Nessa análise, o AHP foi usado para identificar a aderência de cada um dos projetos aos quatro indicadores globais da empresa: Pessoal (P), Qualidade (Q), Velocidade (V) e Financeiro (F).

Os projetos Kaizen selecionados para a aplicação da metodologia desenvolvida são descritos a seguir:

1. Adequação da linha de montagem para introduzir um produto com volume adicional de 4 equipamentos por dia (atual 6) atendendo ao TT (*takt time*) atual dos produtos. Aumento de 6 para 10. Projeto recentemente implementado.
2. Aumentar o volume de 10 para 12 equipamentos por dia para atingir o tempo de ciclo (TC) entre pedido e entrega do produto em oito semanas. Projeto recentemente implementado.
3. Balanceamento das operações de montagem com o objetivo de reduzir o tempo de ciclo em 10% e evitar a implementação de turnos adicionais. Projeto recentemente implementado.
4. Aplicar melhoria contínua em processo gargalo de armazenagem de componentes para introduzir novos produtos, evitando investimentos. Projeto recentemente implementado.
5. Mapear projetos de melhoria contínua com o propósito de gerenciar subprojetos em andamento. Projeto em fase de seleção.

MÉTODO MULTICRITÉRIO

A aplicação individual do AHP por parte dos líderes foi realizada a partir da ferramenta *web* AHP-OS, uma solução livre e desenvolvido por Goepel (2018; 2021), da *Business Performance Management Singapore* – BPMSG. Ela foi escolhida para a realização dessa etapa do processo devido à facilidade de configuração e aplicação, bem como pela sua função de cálculo automático do índice de consistência (CR).

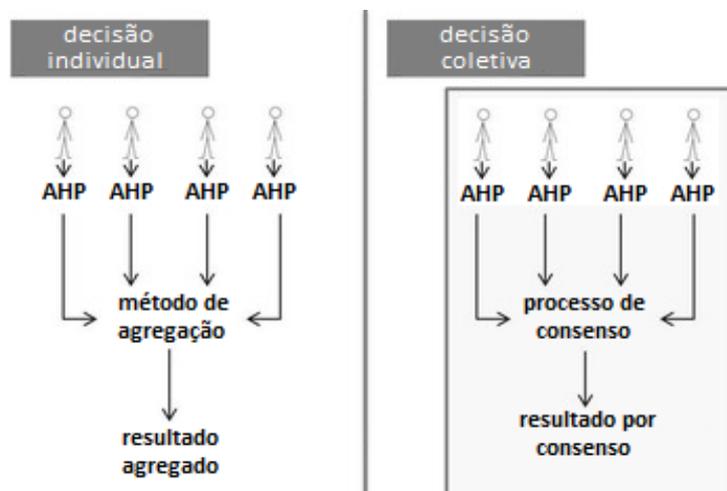
A partir dos resultados de priorização obtidos com os líderes entrevistados, consolidou-se as informações dos indicadores para cada projeto e líder em tabelas, de modo a facilitar a análise e discussão do desempenho do método, comparar os resultados obtidos entre os projetos e líderes.

Após a consolidação dos resultados de cada líder para cada projeto, é necessário definir um resultado de priorização final dos indicadores por projeto, a partir das informações fornecidas por cada líder.

Para esse fim, pode-se utilizar, basicamente, dois tipos de ferramentas: métodos de agregação ou processo de consenso (Figura 3).

Figura 3

Métodos de decisão individual e coletiva



Adaptado: Pauer, Schmidt, Babac, Damm, Frank e von der Schulenburg, 2016.

O uso de um método de agregação consiste em, basicamente, agregar informações de diferentes fontes e/ou tipos em um dado final, de tal modo que ele represente, em certa medida, os dados usados para a sua confecção. O processo de consenso, por outro lado, consiste em juntar os dados/informações necessárias para uma priorização/decisão e usá-los como base para uma deliberação em grupo, este formado pelos tomadores de decisão.

Para o presente trabalho, ambas as opções foram avaliadas, porém escolheu-se pelo uso do método de agregação devido à algumas limitações apresentadas pelo processo de consenso, tais quais: dificuldade em reunir todos os líderes envolvidos na tomada de decisão e possibilidade de ocorrência de grande divergência de opiniões, resultando em um tempo elevado para a finalização do processo (ou até mesmo em um resultado de não-consenso).

Além disso, optou-se pela utilização de um método de agregação pois ele possibilita a síntese de uma priorização final para cada projeto, a partir da avaliação individual de cada líder.

Dos métodos de agregação existentes mais usados, a média geométrica é uma das mais indicadas para o AHP, pois, diferentemente da média aritmética, média aritmética ponderada, ou da mediana, a média geométrica é a única que mantém a reciprocidade da matriz de comparação par-a-par, parte fundamental da ferramenta (Aczel & Saaty, 1983; Krejci & Stiklasa, 2018).

Em linha gerais, a média geométrica é calculada a partir da multiplicação dos elementos de um conjunto de dados, seguido da raiz do número de elementos contidos nesse conjunto. A fórmula geral da média geométrica é apresentada pela Equação 3:

$$Mg = \sqrt[n]{x_1 * x_2 * \dots * x_n} \quad (3)$$

Tal que,

Mg = Media Geométrica;

n = Número de elemento do conjunto de dados;

x_i = Valor do dado **i**, com **i** = 1, ..., n.

MÉTODO MULTICRITÉRIO



No presente estudo, a média geométrica será aplicada para agregar os resultados da aplicação do AHP de cada indicador, em cada um dos 5 projetos, a partir das pesquisas realizadas individualmente com os líderes 1, 2 e 3.

Desse modo, a partir da fórmula geral da média geométrica (Equação 3), definiu-se o cálculo de agregação para cada indicador, a partir dos resultados de cada líder (Equação 4):

$$MGI = \sqrt[3]{L1 * L2 * L3} \quad (4)$$

Tal que,

MGI = Média Geométrica do Indicador;

L1 = Resultado do Indicador fornecido pelo líder 1;

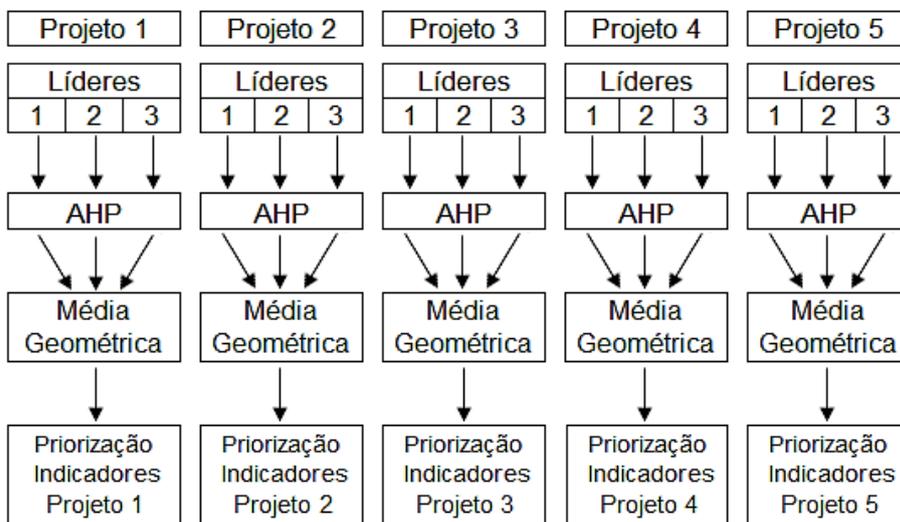
L2 = Resultado do Indicador fornecido pelo líder 2;

L3 = Resultado do Indicador fornecido pelo líder 3.

A partir dos resultados agregados de MGI para cada um dos projetos Kaizen avaliados, foi possível classificá-los/priorizá-los em relação a aderência deles com cada um dos quatro indicadores globais da empresa. A Figura 4 sintetiza os processos envolvidos até os resultados de priorização dos indicadores para cada projeto seguindo o passo 1 para realização da decomposição do problema com uma hierarquia de objetivos, critérios, subcritérios e alternativas.

Figura 4

Método de agregação por Média Geométrica



Fonte: Autores.

Resultados e Discussões

As Tabela 3 e 4 apresentam os resultados obtidos pela aplicação da ferramenta AHP-OS na avaliação dos indicadores para cada projeto, realizado por cada líder. Essa etapa é realizada conforme passo 2, 3 e 4.

MÉTODO MULTICRITÉRIO

Tabela 3

Matrizes de comparação dos critérios, por projeto e por líder

Projeto 1					Projeto 2					Projeto 3					Projeto 4					Projeto 5					
Adequação de uma linha de montagem para ampliação da produção de 6 para 10 equipamentos por dia.					Aumentar o volume de 10 para 12 equipamentos por dia para atingir o TC de oito semanas, entre pedido e a entrega do produto.					Rebalanceamento das operações de montagem para reduzir o tempo de ciclo em 10%, evitando a implementação de turnos adicionais.					Aplicar melhoria contínua em processo gargalo de armazenagem de componentes para introduzir novos produtos, evitando investimentos					Mapear projetos de melhoria contínua com o propósito de gerenciar os subprojetos em andamento					
Líder 1	P	1	2	0,33	0,2	P	1	3	0,25	0,5	P	1	3	4	4	P	1	0,5	0,25	0,2	P	1	1	1	0,5
	Q	0,5	1	0,33	0,11	Q	0,33	1	0,2	0,14	Q	0,33	1	2	5	Q	2	1	0,17	0,25	Q	1	1	0,33	0,25
	V	3	3	1	0,25	V	4	1	1	3	V	0,25	0,5	1	3	V	4	6	1	0,5	V	1	3	1	0,33
	F	5	9	4	1	F	2	0,33	0,33	1	F	0,25	0,2	0,33	1	F	5	4	2	1	F	2	4	3	1
Líder 2	P	1	2	0,33	0,11	P	1	0,33	0,11	0,14	P	1	2	0,17	0,14	P	1	2	0,2	0,13	P	1	0,33	0,14	3
	Q	0,5	1	0,25	0,14	Q	3	1	0,17	0,17	Q	0,5	1	0,17	0,11	Q	0,5	1	0,2	0,11	Q	3	1	0,2	3
	V	3	4	1	0,33	V	9	6	1	3	V	6	6	1	0,25	V	5	5	1	0,33	V	7	5	1	7
	F	9	7	3	1	F	7	6	0,33	1	F	7	9	4	1	F	8	9	3	1	F	0,33	0,33	0,14	1
Líder 3	P	1	0,5	0,13	0,11	P	1	0,33	0,11	0,17	P	1	0,33	0,13	0,11	P	1	0,25	0,2	0,11	P	1	6	6	9
	Q	2	1	0,33	0,14	Q	3	1	0,11	0,2	Q	3	1	0,33	0,13	Q	4	1	0,33	0,14	Q	0,17	1	2	6
	V	8	3	1	0,17	V	9	9	1	4	V	8	3	1	0,2	V	5	3	1	0,2	V	0,17	0,5	1	4
	F	9	7	6	1	F	6	5	0,25	1	F	9	8	5	1	F	9	7	5	1	F	0,11	0,17	0,25	1

Fonte: Autores

Tabela 4

Resultados priorização dos indicadores e da taxa de consistência do modelo proposto, por projeto e por líder

	Projeto 1				Projeto 2				Projeto 3				Projeto 4				Projeto 5			
	Relevância	Posição	CR		Relevância	Posição	CR		Relevância	Posição	CR		Relevância	Posição	CR		Relevância	Posição	CR	
Líder 1	P	10%	3°	0,031	14%	3°	0,071	9%	4°	0,041	7%	4°	0,067	18%	3°	0,058				
	Q	6%	4°	6%	4°	11%	3°	10%	3°	12%	4°									
	V	21%	2°	53%	1°	34%	2°	36%	2°	22%	2°									
	F	62%	1°	27%	2°	46%	1°	47%	1°	48%	1°									
Líder 2	P	9%	3°	0,039	4%	4°	0,077	7%	3°	0,074	8%	3°	0,034	10%	3°	0,084				
	Q	6%	4°	9%	3°	5%	4°	5%	4°	19%	2°									
	V	23%	2°	57%	1°	27%	2°	27%	2°	65%	1°									
	F	62%	1°	31%	2°	62%	1°	60%	1°	6%	4°									
Líder 3	P	4%	4°	0,095	4%	4°	0,085	4%	4°	0,085	5%	4°	0,086	66%	1°	0,081				
	Q	8%	3°	8%	3°	8%	3°	10%	3°	18%	2°									
	V	21%	2°	64%	1°	22%	2°	20%	2°	12%	3°									
	F	67%	1°	24%	2°	66%	1°	65%	1°	4%	4°									

Fonte: Autores

A Tabela 3 introduz as matrizes de comparação, aplicado conforme passo 3 do referencial teórico e exibindo as comparações par-a-par dos indicadores definidos por cada um dos três líderes, para cada um dos 5 projetos. A partir dos dados da matriz de comparação, foi possível obter a

relevância de cada indicador avaliado dentro de cada projeto e para cada líder entrevistado (autovetor do AHP - Tabela 4), conforme passo 4, para que a matriz seja normalizada.

Além disso, a ferramenta AHP-OS também realizou o cálculo da taxa de consistência CR para cada uma das matrizes de comparação seguindo o passo 5, e após a matriz ser normalizada. Conforme é possível verificar na Tabela 4, todas as matrizes de comparação apresentaram valores de CR menores que 0,1 (10%), o que, de acordo com o método AHP garante que tais resultados obtidos possuem um nível aceitável de consistência segundo Saaty (2005).

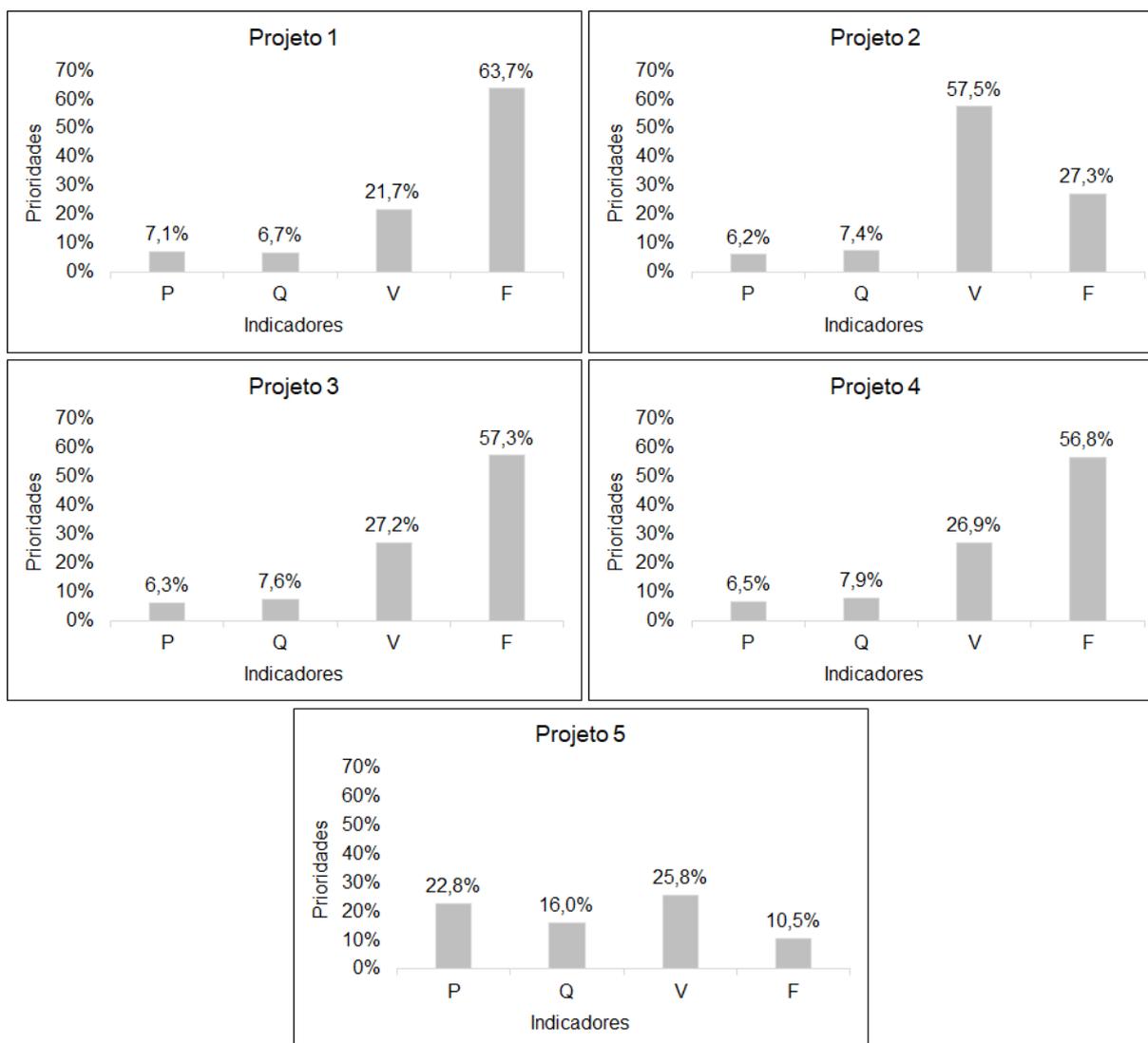
A aplicação da média geométrica sobre os resultados das priorizações de cada líder permitiu uma consolidação da priorização dos indicadores conforme passo 6 por ordem importância para cada projeto. Essa etapa é importante para permitir a tomada de decisão sobre qual projeto implementar com base nos indicadores de maior impacto: Pessoas, Qualidade, Velocidade e/ou Financeiro.

O Gráfico 1 apresenta os resultados de priorização dos indicadores para cada um dos projetos:

MÉTODO MULTICRITÉRIO

Gráfico 1

Resultados de prioridade por projeto



Fonte: Autores.

A partir dele, é possível verificar que, para o Projeto 1, o indicador financeiro apresentou a maior aderência às metas definidas no escopo do projeto, com uma contribuição de 63,7% da meta. O indicador com a segunda maior aderência foi a velocidade, com 21,7% (42% menor que o indicador financeiro). Na sequência, a aderência à meta dos outros indicadores foram 7,1% para pessoas e 6,7% para qualidade.

Para o Projeto 2, o indicador velocidade apresentou a maior aderência às metas definidas pelo escopo do projeto, com uma contribuição de 57,5% da meta, uma aderência de 30,2% acima do

indicador com o segundo melhor resultado, o indicador financeiro, com 27,3%. Na sequência, a aderência à meta dos indicadores restantes foram 7,4% para qualidade e 6,2% para pessoas.

Assim como no Projeto 1, o indicador financeiro apresentou a maior aderência às metas definidas no escopo do Projeto 3, com uma contribuição de 57,3% da meta, seguido pelo indicador de velocidade, com 27,2% (30,1% menor que o indicador financeiro). A aderência à meta dos outros indicadores foi bem menor: 7,6% para qualidade e 6,3% para pessoas.

Os resultados de priorização do Projeto 4 foram muito similares aos do Projeto 3. O indicador financeiro apresentou a maior aderência às metas definidas no escopo do projeto, com uma contribuição de 56,8% da meta, seguido pelo indicador de velocidade, com 26,9% (29,9% menor que o indicador financeiro). A aderência à meta dos outros indicadores foi, respectivamente, 7,9% para qualidade e 6,5% para pessoas.

Por fim, para o Projeto 5, verificou-se que o indicador velocidade apresentou a maior aderência às metas definidas no escopo do projeto, com uma contribuição de 25,8% da meta, seguido pelo indicador de pessoas (22,8%), qualidade (16%) e financeiro (10,5%).

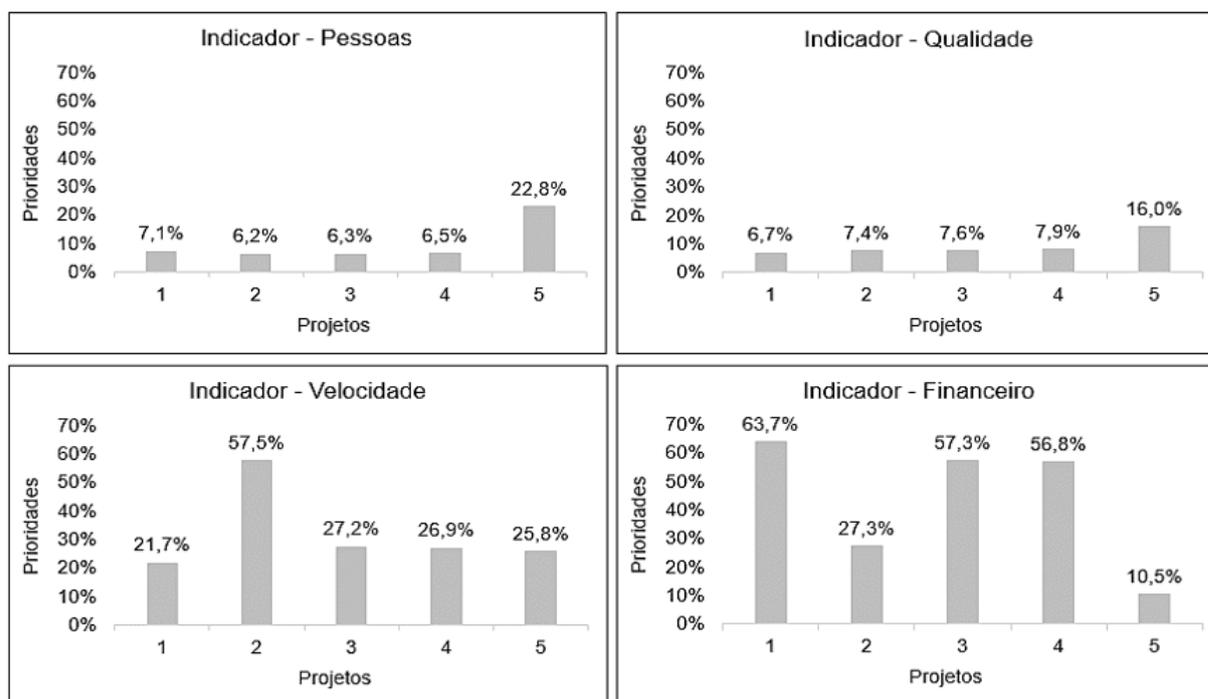
Considerando os resultados apresentados pelo Gráfico 1, foi possível elencar, para cada projeto avaliado, seu grau de aderência aos indicadores globais da empresa. Tal informação se mostra de grande relevância aos tomadores de decisão, uma vez que possibilita, dentre as alternativas existentes, identificar àquela que mais se adequa às necessidades de melhoria dentro da empresa.

Para facilitar ainda mais essa análise, o Gráfico 2 apresenta os resultados de aderências dos projetos por indicador:



Gráfico 2

Resultados de prioridade por indicador em relação aos projetos



Fonte: Autores

A partir desse novo enquadramento das informações obtidas, é orientar a seleção dos projetos a serem realizados de modo a atender às necessidades dos tomadores de decisão a respeito de qual indicador global deseja-se melhorar: para os indicadores de pessoas (P) e de Qualidade (Q), o tomador de decisão deve optar pelo Projeto 5. Para o indicador de velocidade (V), a maior aderência será atingida com o Projeto 2. Para o indicador financeiro (F), a maior aderência será atingida ao realizar o Projeto 1.

É importante destacar que, diferentemente do que aconteceu com os outros projetos, os resultados da aderência dos indicadores em relação ao escopo do Projeto 5 são muito próximos, especialmente entre o indicador de pessoas e de velocidade (diferença de apenas 3%).

Tal aproximação entre os resultados obtidos deve-se, em grande parte, ao escopo mais abrangente desse projeto, bem como por se tratar de uma melhoria no nível gerencial, enquanto os outros projetos estão associados a ações do nível mais operacional. De fato,

essa constatação foi observada pelos líderes durante as entrevistas, causando uma maior insegurança e indecisão a respeito dos impactos desse projeto em cada um dos indicadores.

Para minimizar essa insegurança/indecisão, foram sugeridas duas ações: a ampliação do detalhamento do escopo do projeto e a divisão dos indicadores atuais em indicadores mais específicos, possibilitando aos líderes uma visão mais ampla do projeto e do propósito.

Considerações Finais

O presente trabalho propôs um método de classificação de projetos Kaizen baseado na ferramenta AHP, por meio da definição e priorização dos indicadores de desempenho relevantes para uma empresa de manufatura.

Como forma de verificar a aplicabilidade desse método, um estudo de caso foi realizado em uma empresa do ramo de máquinas e equipamentos da região de Campinas. Nesse estudo de caso, três líderes de produção foram entrevistados para que avaliassem cinco projetos Kaizen diferentes em relação a quatro indicadores globais da empresa: Pessoal, Qualidade, Velocidade e Financeiro.

Foi possível verificar que a priorização dos indicadores por projeto, a partir da aplicação do método proposto, permitiu a classificação de cada um dos projetos Kaizen avaliados em relação à aderência destes aos indicadores mais relevantes da empresa, possibilitando ao tomador de decisão uma visão mais direcionada sobre quais projetos/opções de melhoria contínua melhor atendem às suas necessidades naquele momento.

Os Projetos 1, 3 e 4 tiveram maior aderência (superior a 56% nos três casos) ao indicador Financeiro, seguido pelo indicador de Velocidade (superior a 21% nos três casos). O Projeto 2 teve uma aderência maior ao indicador Velocidade (57,5%), seguido pelo indicador Financeiro (27,3%). Em relação ao Projeto 5, seus resultados apresentaram as menores variações entre os indicadores avaliados, sugerindo uma certa indecisão, por parte dos avaliadores, sobre quais indicadores ele teria maior impacto positivo. Constatou-se que essa menor variação entre os resultados obtidos se deveu, em grande parte, ao escopo mais abrangente desse projeto e ao tipo de melhoria, de nível gerencial, enquanto os outros projetos possuem um caráter mais operacional.



Por fim, foram observadas algumas oportunidades de melhorias no desenvolvimento do método proposto, em especial a ampliação da quantidade de líderes participantes, bem como uma maior estratificação dos indicadores avaliados, de modo a contribuir com uma melhoria no detalhamento da classificação, bem como na redução de distorções decorrentes de um número pequeno de participantes.

Referências

- Aczél, J., & Saaty, T. L. (1983). Procedures for synthesizing ratio judgements. *Journal of Mathematical Psychology*, 27(1), 93-102. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(83\)90028-7](https://doi.org/10.1016/0022-2496(83)90028-7)
- Alukal, G. & Manos, A. (2006). *Lean Kaizen: a simplified approach to process improvements* (1st ed.). ASQ Pr.
- Al-Aomar, R., & Hussain, M. (2019). Exploration and prioritization of lean techniques in a hotel supply chain. *International Journal of Lean Six Sigma*, 10(1), 375-396. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-10-2017-0119>
- Amin, A. N. M., Mahmood, W. H. W., & Kamat, S. R. (2019). Lean practices for waste prioritising in machining based product. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 9(5), 305-318. <https://doi.org/10.24247/ijmperdoct201926>
- Arya, A. K., & Choudhary, S. (2015). Assessing the application of Kaizen principles in Indian small-scale industry. *International Journal of Lean Six Sigma*, 6(4), 369-396. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-11-2014-0033>
- Baswaraj S., A., Sreenivasa Rao, M., & Pawar, P. J. (2018). Application of AHP for process parameter selection and consistency verification in secondary steel manufacturing. *Materials Today: Proceedings*, 5(13), 27166–27170. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.09.027>
- Belekoukias, I., Garza-Reyes, J. A., & Kumar, V. (2014). The impact of lean methods and tools on the operational performance of manufacturing organisations. *International Journal of Production Research*, 52(18), 5346-5366. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.903348>
- Bhushan, N., & Rai, K. (2004). *Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process* (1st

ed.). Springer-Verlag London. <https://doi.org/10.1007/b97668>

Brunet, A. P., & New, S. (2003). Kaizen in Japan: An empirical study. *International Journal of Operations and Production Management*, 23(11-12), 1426-1446.

<https://doi.org/10.1108/01443570310506704>

Farris, J. A., Van Aken, E. M., Doolen, T. L., & Worley, J. (2008). Learning from less successful kaizen events: A case study. *EMJ - Engineering Management Journal*, 20(3), 10-20.

<https://doi.org/10.1080/10429247.2008.11431772>

Farhan, U. H., Tolouei-Rad, M., & Osseiran, A. (2016). Use of AHP in decision-making for machine tool configurations. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 27(6), 874-888.

<https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2016-0028>

Glover, W. J., Farris, J. A., & Van Aken, E. M. (2014). Kaizen Events: Assessing the Existing Literature and Convergence of Practices. *Engineering Management Journal*, 26(1), 39-61.

<https://doi.org/10.1080/10429247.2014.11432003>

Goepel, K. D. (2018). Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS). *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 10(3), 469-487.

<https://doi.org/10.13033/ijahp.v10i3.590>

Goelpel, K. D. (2021). *Business Performance Management Singapore* [Online tool]. Disponível em: <<https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2021.

Imai, M. (1986). *Kaizen: The Key To Japan's Competitive Success* (1st ed.). McGraw-Hill Education.

Imai, M. (1997). *Gemba Kaizen: A Commonsense, Low-Cost Approach to Management* (1st ed.). McGraw-Hill.

Krejčí, J., & Stoklasa, J. (2018). Aggregation in the analytic hierarchy process: Why weighted geometric mean should be used instead of weighted arithmetic mean. *Expert Systems with Applications*, 114, 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.06.060>

Kiatcharoenpol, T., Laosirihongthong, T., Chaiyawong, P., & Glincha-em, C. (2015). A Study of Critical Success Factors and Prioritization by Using Analysis Hierarchy Process in Lean Manufacturing

MÉTODO MULTICRITÉRIO



- Implementation for Thai SMEs. In E. Qi, Q. Su, J. Shen, F. Wu, & R. Dou (Eds.), *Proceedings of the 5th International Asia Conference on Industrial Engineering and Management Innovation (IEMI2014)* (pp. 295–298). Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/978-94-6239-100-0_54
- Liker, J. K (2004). *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer* (1st ed.). McGraw-Hill.
- Lin, G., Shen, G. Q., Sun, M., & Kelly, J. (2011). Identification of Key Performance Indicators for Measuring the Performance of Value Management Studies in Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(9), 698–706. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000348](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000348)
- Maslesa, E., Jensen, P. A., & Birkved, M. (2018). Indicators for quantifying environmental building performance: A systematic literature review. *Journal of Building Engineering*, 19(March), 552–560. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.06.006>
- McGinnis, M. A. (1999). *The Kaizen Blitz: Accelerating Breakthroughs in Productivity and Performance* (1st ed.). Wiley
- Nurcahyo, R., Apriliani, F., Muslim, E., & Wibowo, A. D. (2019). The Analysis of the Implementation of 5-S Principles Integrated With ISO 9001 Requirements at Higher Education Level. *SAGE Open*, 9(3). <https://doi.org/10.1177/2158244019870773>
- Pauer, F., Schmidt, K., Babac, A., Damm, K., Frank, M., & von der Schulenburg, J.-M. G. (2016). Comparison of different approaches applied in Analytic Hierarchy Process - an example of information needs of patients with rare diseases. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 16(1), 117. <https://doi.org/10.1186/s12911-016-0346-8>
- Prasetyaningsih, E., Muhamad, C. R., & Amolina, S. (2020). Assessing of supply chain performance by adopting Supply Chain Operation Reference (SCOR) model. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 830(3), 0-6. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/830/3/032083>
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process* (1st ed.). McGraw-Hill.
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of*

- Operational Research*, 48(1), 9-26. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6_1
- Saaty, T. L. (2005). *Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks* (3rd ed.). RWS Publications.
- Sanchez, H., Robert, B., Bourgault, M., & Pellerin, R. (2009). Risk management applied to projects, programs, and portfolios. *International Journal of Managing Projects in Business*, 2(1), 14-35. <https://doi.org/10.1108/17538370910930491>
- Silbert, J. S. V. (2019). The assay of the implementation of 5-s principles integrated with iso 9001 requirements on automobile industry. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(3), 5531-5536. <https://doi.org/10.35940/ijrte.C5454.098319>
- Silva, F. C. da, Shibao, F. Y., Barbieri, J. C., Librantz, A. F. H., & Santos, M. R. dos. (2018). Barreiras à gestão da cadeia de suprimentos verde na indústria automotiva. *Revista de Administração de Empresas*, 58(2), 149-162. <https://doi.org/10.1590/s0034-759020180204>
- Slack, N., Chambers, S., Harland, C., Harrison, A., Johnston, R. (2009). *Administração da produção* (3rd ed.). Editora Atlas.
- Smadi, S. Aaluak. (2009). Kaizen strategy and the drive for competitiveness: Challenges and opportunities. *Competitiveness Review*, 19(3), 203-211. <https://doi.org/10.1108/10595420910962070>
- Sousa, J. V., Melo, F. J. C., Aquino, J. T., & Jerônimo, T. de B. (2021). Using AHP to improve manufacturing processes in TPM on industrial and port complex. *Exacta*, 19(3), 523-549. <https://doi.org/10.5585/exactaep.2021.16693>
- Stocker, F., Villar, E. G., Roglio, K. D. D., & Abib, G. (2018). Dismissal: Important criteria in managerial decision-making. *Revista de Administração de Empresas*, 58(2), 116-129. <https://doi.org/10.1590/s0034-759020180202>
- Vargas, L. G. (1990). An overview of the analytic hierarchy process and its applications. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 2-8. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90056-H](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90056-H)
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your*

MÉTODO MULTICRITÉRIO



Corporation (2nd ed.).Free Press.

Wu, Z., Xu, J., & Xu, Z. (2016). A multiple attribute group decision making framework for the evaluation of lean practices at logistics distribution centers. *Annals of Operations Research*, 247, 735-757. <https://doi.org/10.1007/s10479-015-1788-6>