

APLICAÇÃO DA FERRAMENTA AHP PARA PRIORIZAR CASO DE USO TECNOLÓGICO EM PMES DA INDÚSTRIA BRASILEIRA

Vanessa Bertholdo Vargas, vanessavbv@ita.br¹,
Jefferson de Oliveira Gomes, gomes@ita.br¹,
Tédni de Abreu Goulart, tedni@ita.br¹

¹ Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA); Centro de Competência em Manufatura (CCM) – Engenharia Aeronáutica e Mecânica – EAM-3, São José dos Campos (SP).

Resumo. Nas últimas décadas a indústria global vem experimentando um avanço tecnológico que está proporcionando o desenvolvimento dos conceitos da Quarta Revolução Industrial. As pequenas e médias empresas (PMEs) precisam superar uma série de desafios para implementar essas tecnologias emergentes, que atualmente estão mais ao alcance de empresas maiores. Um dos desafios percebidos pelas PMEs é a escolha da tecnologia mais apropriada para ela. Nesse sentido a ferramenta Analytic Hierarchy Process (AHP) se mostrou com potencial de auxiliar à tomada de decisões, inclusive, nesse auxílio à escolha tecnológica às indústrias brasileiras. Para poder contemplar tanto as vontades quanto as necessidades das empresas, coletaram-se dados de especialistas da área industrial e dados que demonstram as vontades das empresas. Essa coleta aconteceu por meio de questionários de priorizações com as empresas participantes da pesquisa. Tal método se mostrou eficiente no direcionamento da escolha de uma tecnologia para consultores e empresas. Além disso, percebeu-se que a maioria das empresas selecionadas para o estudo apresentaram maior necessidade pelo caso de uso tecnológico definido como “Monitoramento de Processos”, seguido pelo caso de uso de “Rastreamento de Ativos” e por último, “Digitalização dos Processos Industriais”.

Palavras-chave: tecnologias emergentes, pequenas e médias empresas, indústria brasileira, processo analítico hierárquico, tomada de decisão.

Abstract. In the last decades, the global industry has been experiencing a technological advance that is providing the development of the concepts of the Fourth Industrial Revolution. In this context, small and medium-sized enterprises (SMEs) need to overcome a series of challenges to implement these emerging technologies, which are currently more within reach of larger companies. One of the challenges perceived by SMEs is choosing the most appropriate technology for them. In this sense, the Analytic Hierarchy Process (AHP) tool proved to have the potential to help decision-making, including helping Brazilian industries to choose technology. In order to contemplate both the wills and the real needs of the companies, data from specialists in the industrial area and data that demonstrate the wills of the companies were collected. This collection took place through prioritization questionnaires with the companies participating in the research. This method proved to be efficient in directing the choice of a technology for consultants and companies. In addition, it was noticed that most of the companies selected for the study had a greater need for the technological use case defined as "Process Monitoring", followed by the use case of "Asset Tracking" and finally, "Digitization of Industrial Processes".

Keywords: emerging technologies, small and medium enterprises, Brazilian industry, hierarchical analytical process, decision making.

1. INTRODUÇÃO

As Pequenas e Médias Empresas (PMEs) contribuem para a saúde das economias e produtividade dos negócios em todo o mundo. As PMEs são fornecedores importantes, parceiros e clientes em quase todas as indústrias. Além disso, são importantes fornecedores intermediários, vendendo suas mercadorias em cadeias de valor globais, locais e multinacionais.

Estudos recentes apontam que as lacunas na infraestrutura digital e os desafios para as PMEs adotarem as mais recentes tecnologias digitais são vistos como as principais barreiras para o crescimento da economia digital (Abralog, 2021).

Wylde *et al.* (2020) também citam que, se as PMEs manufatureiras não puderem acompanhar seus maiores parceiros de negócios e clientes na “Quarta Revolução Industrial”, atuarão como um empecilho para a produtividade da indústria global.

Uma das primeiras dificuldades que as PMEs enfrentam na Quarta Revolução Industrial é não possuir o conhecimento adequado para escolher as tecnologias mais apropriadas para o momento atual da empresa. Um ponto a ser ressaltado é que nem todas as tecnologias emergentes trarão resultados significativos e benéficos para todas as empresas e todas as culturas. Isso explica o fato de muitas empresas implementarem as tecnologias mais atuais do momento e não desfrutarem dos melhores benefícios que estas propõem, o que acaba frustrando, muitas vezes, os donos das empresas. Entende-se que cada tecnologia tem seu momento, sua cultura e quantidade de pessoas responsáveis por ela, para tirar a maior quantidade de benefícios que ela pode proporcionar.

Neste sentido, entende-se a importância do desenvolvimento de uma ferramenta que auxilie as PMEs e/ou Consultores Técnicos no direcionamento da escolha da tecnologia que lhe traria mais benefícios e menos riscos para empresa.

Para isso, o presente trabalho considerou uma adaptação do Método Analítico Hierárquico, do inglês *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para realizar esse direcionamento, que é utilizado no processo de tomada de decisões, minimizando suas falhas. A lógica unifica os aspectos quantitativos e qualitativos, expressa as considerações do responsável pela tomada de decisão e expõe as preferências hierarquicamente de forma efetiva (Iañez e Cunha, 2006).

As principais contribuições dessa abordagem são auxiliar empresas e consultores a encontrar uma opção que melhor se adapte ao objetivo da empresa, possibilitar a análise de critérios levando em consideração diferentes fatores (e.g. gerenciais, organizacionais, tecnológicos). Além disso, também possibilita modelar de maneira agregada variáveis qualitativas e quantitativas e priorizar casos de uso com base na experiência de especialistas do setor analisado. O método leva em consideração critérios, alternativas e nível de importância de cada tecnologia além de justificar, de maneira explícita, a priorização de casos de uso tecnológicos para determinada empresa.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O processo de aplicação do método AHP pode ser segmentado em quatro etapas. Primeiramente, faz-se necessária a construção de hierarquias, em que são definidos o objetivo, critérios e alternativas (Costa, 2002). Os elementos do mesmo nível, ou de níveis diferentes, são independentes entre si (Kou et al., 2013). A Fig. 1 apresenta uma estrutura hierárquica genérica.

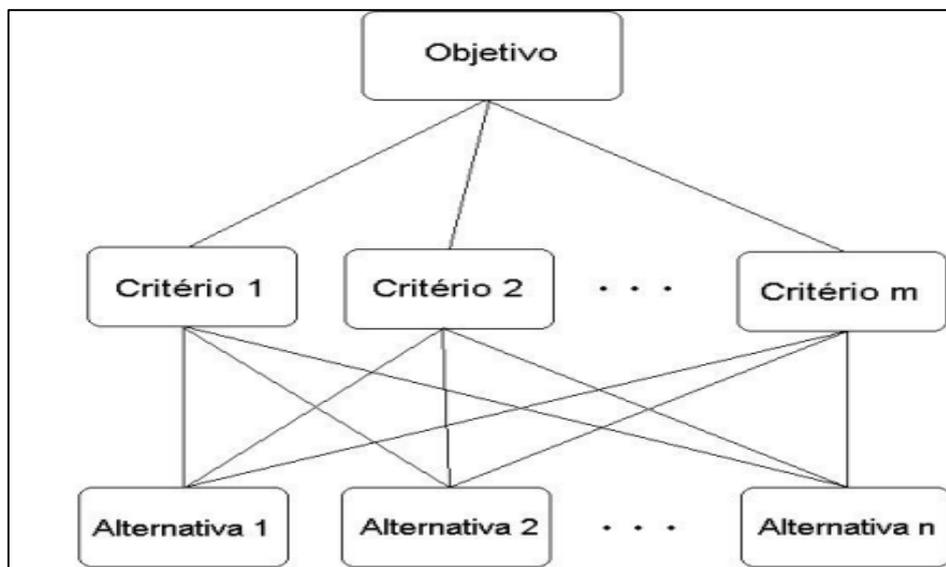


Figura 1. Exemplo de hierarquia (Adaptado de Saaty, 1991)

Após essa definição, é realizada a coleta de dados, que deve ser realizada com o auxílio de mecanismos simples, facilitando o entendimento do procedimento de comparação binária (Costa, 2002). Para fazer comparações é necessária uma escala de números que indique quantas vezes um elemento é mais importante que outro, no que diz respeito à prioridade em relação à qual ele é comparado.

A Tabela 1 exhibe a escala fundamental de Saaty (Saaty, 1991).

Tabela 1. Escala fundamental de Saaty (Adaptado de Saaty, 1991)

INTENSIDADE	DEFINIÇÃO	EXPLICAÇÃO
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente ao objetivo final.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	Experiência e julgamento favorecem levemente uma alternativa em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma alternativa em relação à outra.
7	Importância significativa	Uma atividade é fortemente favorecida e esta dominância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorecendo uma atividade em relação à outra é da ordem mais alta possível.
2,4,6,8	Valores intermediários entre dois julgamentos adjacentes	Quando há necessidade de compromisso.
RECÍPROCOS	Se a atividade i tem um dos números acima atribuídos a ela quando comparada com a atividade j , então j tem o valor recíproco quando comparado com i .	

Para Schmidt (1995) é possível transformar as avaliações em formato numérico para a construção de matrizes de comparação utilizando a Tab. 1.

O terceiro passo refere-se à execução do método matemático referente ao AHP. Para Costa (2002), a síntese de dados pode ser segmentada da seguinte forma:

- construção de matrizes pareadas;
- identificação do autovetor e autovalor;
- identificação do autovetor global.

Segundo Saaty (1991) a matriz de comparação gera relações recíprocas conforme a Tab. 2. Se a_i é julgado de igual importância relativa a a_j , então $X_{ij}=1$ e $X_{ji}=1$.

Tabela 2. Matriz de julgamento para um critério avaliando as alternativas (Adaptado de Saaty, 1991)

CRITÉRIO _i	a_1	a_2	...	N_a
a_1	1	X_{12}	...	X_{1n}
a_2	$1/X_{12}$	1	...	X_{2n}
...
N_a	$1/X_{n1}$	$1/X_{n2}$...	1

Para cada julgamento registrado na posição de linha i e coluna j , representado por X_{ij} , há um valor igual a $1/X_{ij}$ na posição recíproca. Considerando as posições de elementos de linha i e coluna j , variando de 1 a n , se $X_{ij}=a$, então $X_{ji}=1/a$, $a \neq 0$, onde a é o número do julgamento baseado na escala de Saaty (Saaty, 1991).

O cálculo do autovetor dá a ordem de prioridade e o autovalor é a medida de consistência do julgamento. O método AHP busca o autovalor máximo, representado por $\lambda_{m\acute{a}x}$, que pode ser calculado pela multiplicação da matriz de julgamentos A pelo vetor coluna de prioridades computado w , seguido da divisão desse novo vetor encontrado, a_w , pelo primeiro vetor w , chegando-se ao valor de $\lambda_{m\acute{a}x}$ (Puc-Rio, [s.d.]).

Esse cálculo é representado na Eq. (1):

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \text{m\acute{e}dia do vetor } \frac{a_w}{w} \quad (1)$$

O último passo consiste na análise dos julgamentos referente aos resultados obtidos na aplicação do método (Costa, 2002). Saaty (1990) propôs um método matemático que verifica a coerência dos julgamentos realizados denominado de Razão da Consistência (RC), que pode ser definido como uma aproximação singular dos desvios respectivos aos julgamentos.

O índice de constância (IC) se dá pela Eq. (2):

$$I.C = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad (2)$$

Para Saaty (1991) o Índice randômico (IR) é o Índice de constância (IC) de uma matriz recíproca gerada, randomicamente, pelo laboratório Oak Ridge. A Tabela 3 apresentada abaixo mostra os índices randômicos calculados para matrizes recíprocas quadradas de ordem n .

Tabela 3. Índices de Consistência Aleatório (Adaptado de Saaty, 1991)

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>IR</i>	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Saaty (1991) sugere o uso da Razão de Consistência (RC), que considera o IC e o IR, que varia com o tamanho *n* da amostra. Caso o RC calculado seja inferior ou igual a 0,10, a matriz de julgamento é considerada consistente, caso contrário, a matriz é considerada inconsistente e o julgamento deve ser refeito. O cálculo de RC segue a lógica da Eq. (3).

$$RC = \frac{IC}{IR \text{ para } n} \quad (3)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O método proposto foi aplicado em trinta e seis PMEs do setor automotivo e aeronáutico brasileiro. Para a implementação do método proposto, fez-se necessária a definição de critérios de avaliação e alternativas de priorização. A seguir, são apresentados os casos de uso tecnológicos definidos que exemplificam as alternativas a serem priorizadas:

- Monitoramento de Processos Industriais
- Digitalização dos Processos Industriais (*Paperless*)
- Rastreamento de Ativos

Para avaliação dos casos de usos propostos, foram definidos dezesseis critérios de avaliação. Esses critérios foram definidos com base em um estudo de priorização de critérios para a Indústria, realizado em Singapura (GIN, 2019), são eles:

- Eficiência da Mão-de-obra;
- Qualidade do Processo;
- Segurança do Trabalho e Patrimonial;
- Qualidade do Produto;
- Eficiência de Estoque;
- Eficiência de Utilidades;
- Eficácia de Planejamento e Programação da Produção;
- Tempo para Desenvolvimento e Lançamento de Produtos;
- Flexibilidade de Produção;
- Eficiência de Ativos e Equipamentos;
- Gasto com Serviços de Pós-Vendas e Garantias;
- Gasto com Mão-de-obra;
- Gasto com Manutenção e Reparo de Equipamentos;
- Gasto com Estoque de Materiais e Consumíveis;
- Despesas Administrativas;
- Gasto com Utilidades (água, luz, insumos).

Seguindo este conceito, a Fig. 2 apresenta a hierarquia desenvolvida e apresentada acima para aplicação da metodologia proposta.

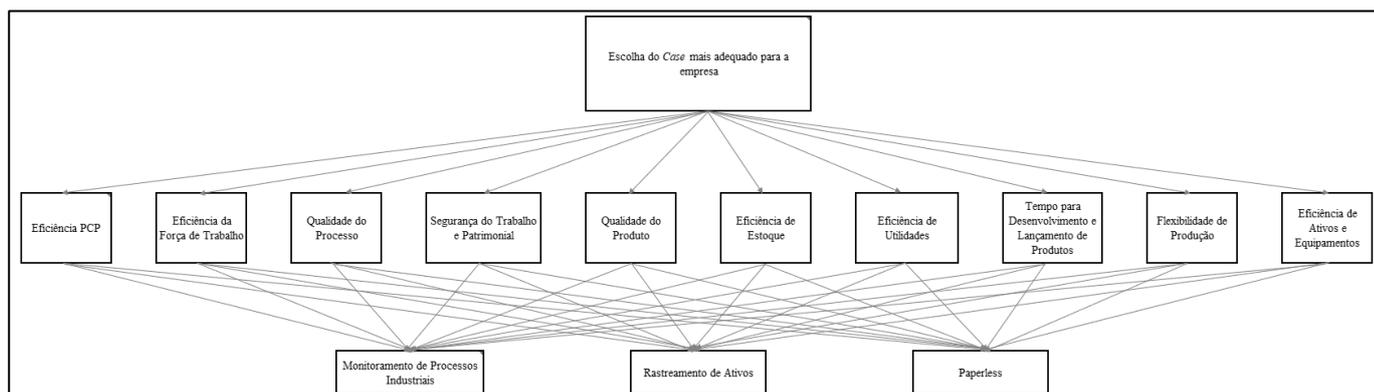


Figura 2. Hierarquia do estudo

Na utilização da ferramenta AHP é preciso avaliar o nível de importância das alternativas e critérios. Portanto, propõe-se pesos fixos para julgar as alternativas, independente da empresa. Esses pesos foram definidos com auxílio de quatorze especialistas, que atuaram/atua no setor automotivo e/ou aeronáutico por mais de dez anos e/ou pesquisadores do setor que tinham vínculo com a pesquisa. Essa escolha foi feita por questões relacionadas a agilidade e praticidade.

Estes especialistas foram orientados a responder um questionário de priorização de casos de uso para cada critério citado anteriormente. Na Fig. 3 é demonstrado uma questão do questionário para o critério de “Eficiência da mão de obra”. A mesma questão sobre os outros quinze critérios também foram respondidas pelos especialistas.

Tendo em vista indicadores relacionados a EFICIENCIA DA MÃO-DE-OBRA, julgue o *
impacto das aplicações tecnológicas abaixo.

	Sem Impacto	Baixo Impacto	Médio-Baixo Impacto	Médio-Alto Impacto	Alto Impacto
Digitalização/ Sistemas Paperless	<input type="radio"/>				
Rastreamento de Ativos	<input type="radio"/>				
Monitoramento de Processos	<input type="radio"/>				

Figura 3. Pesos para as alternativas

Como o intuito do estudo era tornar viável cruzar as informações de necessidades com vontades da indústria, vinculou-se as experiências e conhecimentos de especialistas da área sobre importância das alternativas para cada critério (i.e., necessidades) com os desejos de cada empresa (i.e., vontades).

Com isso, para coletar os dados correspondentes aos desejos das empresas, as mesmas foram orientadas a preencher um questionário de priorização de “KPI” (*Key Performance Indicator*), com o intuito de atribuir pesos aos critérios definidos anteriormente. O questionário submetido para as empresas participantes está demonstrado na Fig. 4.

Liste a prioridade dos seguintes KPIs para a empresa (CADA NÍVEL DE PRIORIDADE DEVE SER PREENCHIDO EXATAMENTE COM 2 KPIs)

A nota deverá ser atribuída entre 1 e 5, sendo 5 as maiores prioridades da empresa e podendo repetir o mesmo valor APENAS UMA VEZ.

Prioridade de KPIs *

	1	2	3	4	5
Eficiência de ativos e equipamentos (OEE)	<input type="radio"/>				
Eficiência da força de trabalho	<input type="radio"/>				
Eficiência de utilidades (eletricidade, combustível, esgoto e água)	<input type="radio"/>				
Eficiência de estoque	<input type="radio"/>				
Qualidade de produto	<input type="radio"/>				
Qualidade de processo	<input type="radio"/>				
Segurança do trabalho e patrimonial	<input type="radio"/>				
Eficiência de planejamento e programação da produção	<input type="radio"/>				
Tempo para desenvolvimento e lançamento de produtos (time to market)	<input type="radio"/>				
Flexibilidade de produção	<input type="radio"/>				

Figura 4. Pesos para os critérios

Após a coleta dos dados, tornou-se possível formar um gráfico de benefício para auxiliar às empresas a selecionar o caso de uso mais indicado para elas.

Na Fig. 5, é demonstrado um exemplo de gráfico de benefício, calculado com o auxílio da ferramenta *Microsoft Excel*, seguindo a metodologia matemática proposta pela ferramenta AHP.

As três colunas do gráfico foram calculadas com o cruzamento das duas coletas de dados. Dos dados julgados pelos especialistas (*necessidades da indústria*), que são fixos independente da empresa, e das vontades e desejos de cada empresa, que são personalizados para cada empresa, conforme preenchimento do questionário.

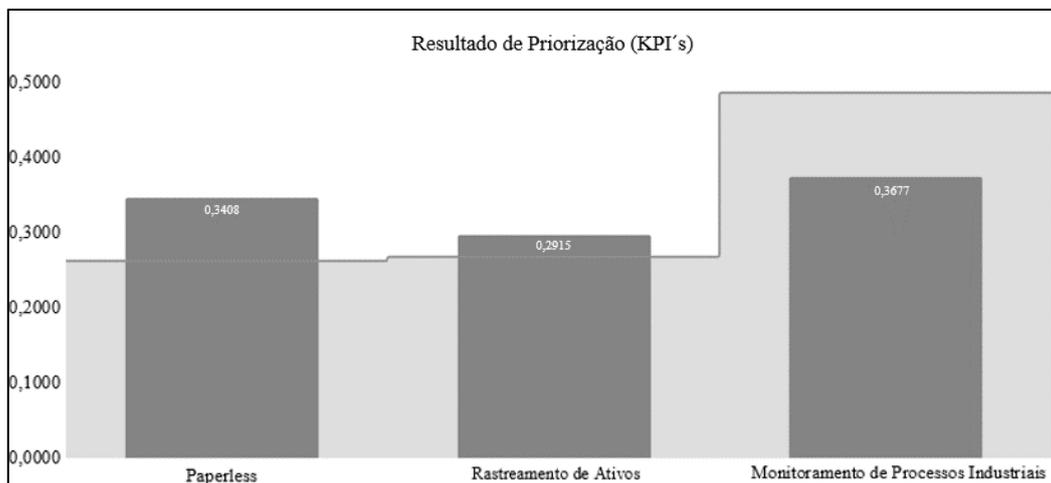


Figura 5. Gráfico de benefício: *use cases*

Além disso, resulta-se como média de benefício dentre as trinta e seis empresas participantes da pesquisa o caso de uso de “Monitoramento de Processos Industriais” depois “Rastreamento de Ativos”, e por fim “Paperless”. Essa demonstração pode ser observada na linha horizontal, que cruza as três colunas dos casos de uso, da Figura 5.

Resultou-se deste fato uma comparação de benefício visando Indicadores-Chaves. Assim, conforme o exemplo da Fig. 5, pode-se interpretar um maior direcionamento para esta empresa ao caso de uso de Monitoramento de Processos Industriais (0,3677). Porém, apesar do benefício maior ter apontado o case de Monitoramento de Processos Industriais, este ficou abaixo da média quando comparado com o resultado das outras empresas. Por outro lado, o caso de uso de “Paperless”, para a empresa em questão, ficou acima da média do recomendado para outras as empresas.

Percebe-se no exemplo, portanto, uma diferença do resultado desta empresa para com as demais analisadas. É possível pensar na possibilidade que talvez a empresa poderia ter mais benefícios aplicando uma tecnologia de “Paperless”, portanto, uma vez que, isso traria uma vantagem competitiva maior, e consequentemente maiores benefícios para esta empresa.

4. CONCLUSÃO

Como apresentado neste trabalho, estudos comprovam que os desafios enfrentados pelas PMEs na adoção das tecnologias emergentes estão impedindo o crescimento da economia digital e atrasando a produtividade da indústria global. Observou-se que os empecilhos para as PMEs começavam logo na escolha da tecnologia, no conhecimento das tecnologias disponíveis e nos benefícios que cada uma traria.

Com isso, com o objetivo de diminuir as dificuldades que as PMEs estão enfrentando na adoção destas tecnologias, notou-se a falta de uma ferramenta que auxilie as mesmas na escolha da tecnologia, ou caso de uso mais apropriado para elas, tendo em vista sempre uma aplicação que lhe traga mais resultados benéficos e menos riscos em relação a investimentos e perda de tempo. Dessa forma, transbordamos a ferramenta AHP para esta aplicação de tomada de decisão de casos de uso em trinta e seis empresas participantes e contamos com o auxílio de quatorze especialistas da indústria automotiva e aeronáutica brasileira.

Pôde-se concluir, com esta aplicação, que tal método se fez eficiente no auxílio e direcionamento de uma escolha de decisão por parte das empresas participantes do estudo. As empresas participantes comprovaram que foi muito mais fácil tomar a decisão de qual caso de uso escolher tendo como base os dados e a lógica matemática indicado e auxiliando nessa escolha.

Além disso, com o resultado das trinta e seis empresas, destaca-se que trinta e cinco delas tiveram sua priorização indicada para o caso de uso de “Monitoramento de Processos”, apenas uma delas para “Paperless” e nenhuma para “Rastreamento de Ativos”. Como indicação de segunda opção, vinte delas tiveram sua indicação para “Rastreamento de Ativos”, dezesseis para “Paperless” e nenhuma para “Monitoramento de Processos”. Por fim, como última opção,

dezenove tiveram indicação para “Paperless”, dezesseis para “Rastreamento de Ativos” e apenas uma para “Monitoramento de Processos”.

É importante destacar este fato para direcionar uma maior quantidade de tecnologia a serem desenvolvidas para os casos de uso de “Monitoramento de Processos” por demonstrarem uma maior necessidade nas PMEs brasileiras.

Por último, destacamos as limitações deste trabalho à quantidade de especialistas e empresas participantes. Para demonstrar ainda mais a realidade da Indústria é indicado para trabalhos futuros que este questionário seja extrapolado para uma ampla quantidade de especialistas no setor, além de ser validada também, por uma maior quantidade de empresas.

5. AGRADECIMENTOS

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

6. REFERÊNCIAS

- Abralog, 2021. “Dificuldade tecnológica na PME é barreira para economia digital”. 11 Jan. 2023. <<https://www.abralog.com.br/noticias/dificuldade-tecnologica-na-pme-e-barreira-para-economia-digital/>>.
- Costa, H. 2002. “Introdução ao método de análise hierárquica: análise multicritério no auxílio à decisão”. Rio de Janeiro: Niterói, 2002.
- Gin, B. “The prioritisation matrix catalysing the transformation of manufacturing”. 11 Jan. 2023. <www.edb.gov.sg>.
- Iañez, M. e Cunha, C. 2006. “Uma metodologia para a seleção de um provedor de serviços logísticos”. *Production*, v. 16, n. 3. doi: <10.1590/s0103-65132006000300004>.
- Kou, G. et al. 2013. “Data Processing for the AHP/ANP”. *Library of Congress Control Number: 2012944253*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- PUC-RIO. “O Método AHP – Analytic Hierarchy Process”. 5 Out. 2022. <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/10385/10385_4.PDF>.
- Saaty, T. L. 1990. “How to make a decision: the analytic hierarchy process”. *European Journal. North Holland.*, v. 9, p. 9–26.
- Saaty, T. L. 1991. “Método de análise hierárquica”. São Paulo - SP: Tradução de Wainer da Silveira e Silva, McGraw-Hill.
- Schmidt, A. 1995. “Processo de apoio à tomada de decisão abordagens: AHP e Macbeth”. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Wylde, G., Costa, C. e Silva, P. 2020. “Accelerating the Impact of IIoT”. *WEF White Paper*.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.