



De 11 a 14 - NOVEMBRO DE 2024

**Inteligência Artificial
na Gestão de Operações:**
Limitações e possibilidades



APLICAÇÃO DO MÉTODO MACBETH PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES: UMA ABORDAGEM MULTICRITÉRIO

DANILO MARQUES DE LIMA – danilo.m.lima@unesp.br
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

LUANA BEATRIZ MARTINS VALERO VIANA - lb.viana@unesp.br
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

REINALDO FRANCISCO ARAÚJO DE SOUZA - reinaldo.francisco@unesp.br
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

ALYSSON DA SILVA ROICE SOUZA OLIVEIRA - alysson.roice@unesp.br
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

REGIANE MÁXIMO SIQUEIRA – regiane.maximo@unesp.br
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

ÁREA: 3 - PESQUISA OPERACIONAL
SUBÁREA: 3.3 - PROCESSOS DECISÓRIOS

RESUMO: A LITERATURA DESTACA QUE O PROCESSO DE SELEÇÃO DE FORNECEDORES NÃO É UMA TAREFA SIMPLES, POIS UMA AMPLA DIVERSIDADE DE CRITÉRIOS DEVE SER CONSIDERADA. ESTE ESTUDO INVESTIGOU A APLICAÇÃO DO MÉTODO MACBETH NA SELEÇÃO DE FORNECEDORES, DEMONSTRANDO SUA EFICIÊNCIA COMO FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO MULTICRITÉRIO. FOI ESTRUTURADO UM MODELO QUE CONSIDEROU OS PRINCIPAIS CRITÉRIOS DE DECISÃO, INCLUINDO CUSTO, QUALIDADE, PRAZO DE ENTREGA, PRAZO DE PAGAMENTO E PÓS-VENTA. A ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DESTACOU A IMPORTÂNCIA DOS CRITÉRIOS DE CUSTO E QUALIDADE, ENQUANTO A ANÁLISE DE ROBUSTEZ CONFIRMOU A DOMINÂNCIA DO FORNECEDOR SUGERIDO MESMO SOB CONDIÇÕES DE INCERTEZAS. AS CONTRIBUIÇÕES DO ESTUDO INCLUEM A VALIDAÇÃO EMPÍRICA DO MÉTODO MACBETH, A INCORPORAÇÃO DE VARIÁVEIS DE INCERTEZA NA SELEÇÃO DE FORNECEDORES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS CONSIDERANDO CRITÉRIOS ADICIONAIS E DIFERENTES SETORES.

PALAVRAS-CHAVES: SELEÇÃO DE FORNECEDORES; ANÁLISE MULTICRITÉRIO; MACBETH.

1. INTRODUÇÃO

Selecionar um fornecedor adequado não é uma tarefa trivial, sendo uma das atividades mais importantes desempenhadas pelas organizações, devido a sua importância estratégica (BAYAZIT et al., 2006). Definir qual é o mais apropriado para abastecer os estoques de suprimentos de uma empresa e sua distribuição pode ser tornar uma árdua tarefa que precisa ser executada com muita eficiência e eficácia, pois isso implica até na rentabilidade e competitividade dela (GONZÁLEZ et al., 2022).

Nesse sentido, todos os aspectos que contribuem para a competitividade de um bem ou serviço devem ser considerados durante a seleção de fornecedores, como preço, qualidade, prazo de entrega, etc (SILVA; SCHRAMM, 2015). Sendo assim, a escolha de fornecedores vai muito além de comparar uma lista de preços, requer a consideração de múltiplos objetivos e critérios (GOVINDAN et al., 2015). Para obter um bom desempenho na seleção de fornecedores é importante que essa atividade seja orientada por um processo estruturado que proporcione ao gestor uma visão mais clara sobre o seu problema, buscando a compreensão acerca dos fatores que o influenciam e dos critérios associados ao fornecedor ideal ou ao produto que se deseja adquirir (GONÇALVES et al., 2019). Essa complexidade no processo de seleção de fornecedores mostra que se trata de um problema multicritério e com isso, gera a necessidade de ajudar as organizações a tomar decisões mais ponderadas e simplificadas, e esse é o papel de muitos modelos e teorias.

Diferentes métodos de análise multicritério de apoio à decisão (MCDA) podem ser utilizados para o problema de seleção de fornecedores, sendo os métodos AHP (processo hierárquico analítico), TOPSIS (técnica para ordem de preferência por similaridade com a solução ideal) e o ANP (processo de rede analítica) os mais explorados (TORRES; SIMON, 2020).

O MACBETH é um dos primeiros métodos MCDM que tem mostrado alta confiabilidade e precisão para lidar com problemas complexos de MCDM e tem sido utilizada com sucesso para determinar os coeficientes de ponderação dos critérios e avaliar alternativas em inúmeros estudos (PAMUCAR; TORKAYESH; BISWAS, 2022). O MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique) é uma metodologia de apoio à tomada de decisão que permite avaliar opções comparando as qualitativamente em

termos de suas diferenças de atratividade, considerando múltiplos critérios (BANA E COSTA et al., 2012).

2.REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Seleção de fornecedores

A cadeia de suprimentos é um sistema complexo que facilita a movimentação de produtos ou serviços do fornecedor ao cliente final. Slack et al. (2013, p. 238) corrobora esta afirmativa ao definirem a gestão da cadeia de suprimentos como “o gerenciamento dos relacionamentos e dos fluxos entre a série de operações e processos que produzem valor em forma de produtos e serviços para o cliente final”. Um dos elementos mais críticos nesse contexto é a seleção de fornecedores, que exerce impacto direto sobre a eficiência operacional, a qualidade dos produtos e a capacidade de inovação de uma empresa. A seleção de fornecedores é uma atividade que surge da decisão gerencial de terceirizar fornecimentos ou serviços essenciais para a operação da empresa. Conforme Perucia et al. (2011), as organizações possuem duas opções estratégicas: fabricar internamente ou adquirir componentes no mercado. Fornecedores confiáveis garantem a disponibilidade contínua de materiais de alta qualidade a preços competitivos, promovendo a estabilidade e a flexibilidade necessárias para responder às demandas da cadeia de suprimentos.

Sonmez (2006) afirma que, segundo a maioria dos autores, a seleção de fornecedores consiste em cinco etapas: identificar a necessidade de um novo fornecedor, definir os critérios de decisão, pré-qualificar os fornecedores adequados, realizar a seleção e, por fim, monitorar e avaliar os fornecedores. Os critérios para a seleção de fornecedores variam conforme o setor e as especificidades da empresa, incluindo considerações como a qualidade dos produtos e serviços oferecidos, o custo total de propriedade, a capacidade de entrega dentro dos prazos estipulados e a flexibilidade para ajustar-se às flutuações da demanda. Ghodsypour e O’Brien (1998) destacam que os critérios de seleção de fornecedores e a importância relativa de cada um são determinados pelo nível de integração entre o fornecedor e o cliente, pela competitividade da empresa e por suas estratégias. Aspectos relacionados à sustentabilidade e responsabilidade social também se tornaram essenciais, refletindo o compromisso das empresas com práticas empresariais éticas e ambientalmente responsáveis.

Adicionalmente, parcerias estratégicas com fornecedores inovadores têm o potencial de estimular o desenvolvimento conjunto de novos produtos e processos, conferindo uma vantagem competitiva no mercado. Zaman (2023) sugere que a colaboração na rede de suprimentos permite aos parceiros compartilhar dados e criar estratégias para melhorar o

desempenho, alcançando benefícios mútuos e objetivos comuns, gerando vantagem competitiva.

2.2. Método MACBETH

O MACBETH é um método de apoio à decisão no contexto da abordagem de análise de multicritério (MCDA) e permite avaliar opções considerando múltiplos critérios e objetivos muitas vezes conflitantes. Distingue-se de outros métodos multicritérios por basear a ponderação dos critérios e a avaliação das opções em julgamentos qualitativos sobre diferenças de atratividade (BANA E COSTA, ANGULO-MEZA, OLIVEIRA., 2013). É um sistema concebido para ser usado por um consultor (facilitador ou analista de decisão), decisor seguindo o princípio construtivista segundo o qual “o problema e a solução pertencem ao tomador de decisão e não ao consultor” (SCHEIN, 1999).

Nesta técnica, o tomador de decisão precisa comparar dois estímulos por vez com julgamentos qualitativos sobre sua diferença de atratividade com base em uma escala de julgamento semântico pré-definida (KARANDE, CHAKRABORTY., 2013) e Shankar Chakraborty). Assim, proporciona maior facilidade para verificar a consistência dos julgamentos do tomador de decisão bem como sugerir melhorias nos próprios julgamentos se considerados inconsistentes.

Figura 1. Fases do processo MACBETH de apoio à decisão multicritério.



Fonte: BANA E COSTA, ANGULO-MEZA, OLIVEIRA., 2013

A primeira etapa consiste em definir o problema, os objetivos e os critérios de avaliação. Posteriormente são listadas as alternativas a serem avaliadas e realiza-se comparações par a par dessas alternativas em cada critério, utilizando uma escala de atratividade qualitativa que é convertida em pontuações numéricas. As comparações são verificadas quanto à consistência e ajustadas se necessário. As pontuações são então agregadas para obter uma pontuação global para cada alternativa. Por fim, análises de sensibilidade são

realizadas para testar a robustez das conclusões, e a decisão final é tomada com base nas pontuações agregadas e nos objetivos do problema.

Entre os aspectos mais valorizados de aplicação do MACBETH, segundo Bana e Costa, Angulo-Meza e Oliveira (2013) são: Combina julgamentos qualitativos com opções de diferenciação de atratividade para modelar incertezas e divergências, permite interatividade na análise e validação de escalas quantitativas, e verifica a consistência dos julgamentos com sugestões para resolver inconsistências.

3. METODOLOGIA

O método MACBETH é uma ferramenta de apoio à decisão multicritério que auxilia na avaliação de alternativas baseando-se em critérios qualitativos, considerados como Pontos de Vista Fundamentais (PVFs). Esta técnica transforma julgamentos de atratividade em uma escala numérica, facilitando a classificação das alternativas possíveis para determinado problema. Este estudo empregou o método MACBETH para a escolha de fornecedores numa empresa de varejo, localizada em Itabirito, Minas Gerais. O gerente de compras e proprietário da empresa atuou nesse estudo como o Decisor da análise, fornecendo as avaliações, ponderações e toda informação referente às diretrizes da empresa. O Decisor da análise solicitou que a análise de fornecedores fosse feita para o produto “mistura para psitacédeos”, tendo em vista a alta demanda deste produto. Dessa forma, foi delineado o objetivo principal do problema de pesquisa: desenvolver um modelo de decisão multicritério para a seleção de fornecedores que satisfaçam os critérios relevantes estabelecidos pelo decisor.

O método MACBETH pode ser dividido em três partes, a Estruturação, a Avaliação e as Recomendações. Na etapa de Estruturação são definidas os PVFs e as possíveis alternativas. Além disso, é nesta etapa em que se elabora a árvore de pontos de vista e a construção dos descritores. Na etapa de Avaliação é aplicado a escala de diferença de atratividade e a ponderação de cada PVF. Já na etapa de Recomendações é traçada a tabela de pontuação global e, por fim, são realizadas as análises de sensibilidade e robustez. A análise de sensibilidade evidencia as implicações nos resultados globais após uma variação individual dos coeficientes de ponderação – mantendo as relações de proporcionalidade entre os pesos restantes. Já a análise de robustez proporciona a inferência de conclusões que podem ser extraídas após a incorporação de níveis de incerteza ao modelo.

Figura 2. Etapas do MACBETH

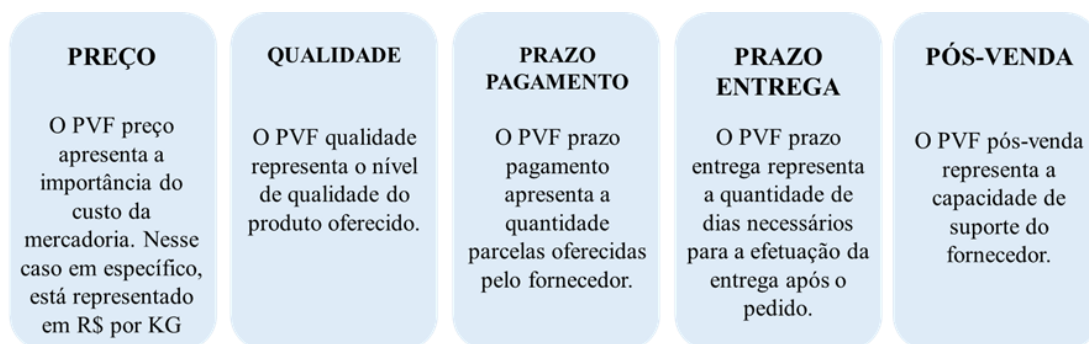
ESTRUTURAÇÃO	AVALIAÇÃO	RECOMENDAÇÕES
Crítérios	Pontuação	Análise de resultados
Opções	Ponderação	Análises de sensibilidade

4. APLICAÇÃO DO MACBETH

4.1. Estruturação do Modelo

Definidos o problema de decisão, o objetivo a ser atendido e o decisor da análise, seguiu-se para a definição dos PVFs que melhor atenda às necessidades e diretrizes da empresa. Em entrevista direta com o gerente de compras, isto é, o decisor da análise, foi pontuado os seguintes PVFs que melhor atendem as diretrizes da empresa no processo de seleção de fornecedores: preço, qualidade, prazo de pagamento, prazo de entrega e pós-venda. A figura 3 sintetiza os PVFs.

Figura 3. Pontos de Vista Fundamentais da análise



Fonte: Elaborada pelos autores.

Após a definição dos PVFs, o decisor da análise levantou possíveis fornecedores que atendam às necessidades da empresa. Quatro fornecedores foram selecionados e seus respectivos nomes foram preservados, sendo representados na análise por abreviações. Após a definição dos fornecedores, foi solicitado ao decisor informações de performance de cada um dos fornecedores. As informações referentes ao PVF preço e PVF prazo pagamento, foram obtidas através de cotação realizada em 10 de junho de 2024. Já as informações referentes ao PVF prazo entrega e PVF pós-venda foram extraídos do banco de dados da própria empresa. As informações referentes ao PVF qualidade foram obtidas por meio de amostras do produto enviadas pelos fornecedores à empresa. A tabela 1 sintetiza as informações.

Tabela 1. Dados dos fornecedores

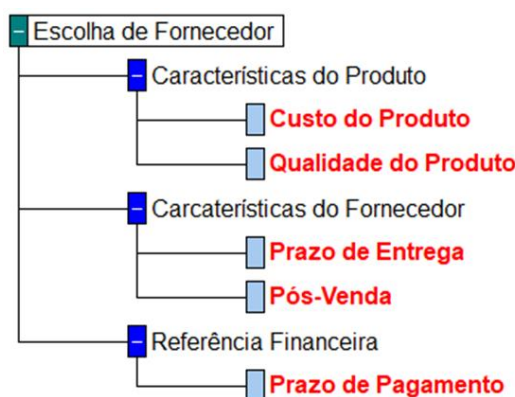
PVF \ Fornecedores	Preço por KG	Qualidade	Prazo Pagamento	Prazo Entrega	Pós-Venda
AVT	4.75	Boa	28-35-42-49	-5	Neutro
PMV	4.40	Muito Boa	30-45	5 e 7	Neutro
PNO	5.6	Boa	30	7 e 10	Ruim
VIT	4,9	Suficiente	À vista	7 e 10	Ruim

Fonte: Elaborada pelos autores.

4.2. Avaliação do Modelo

Com o modelo estruturado, seguiu-se para as etapas de Avaliação e Recomendações. Nestas fases, este estudo utilizou o software M-MACBETH 3 na realização da análise. Assim, foram inseridos os PVFs no software para a construção da árvore de pontos de vista, apresentada pela figura 4.

Figura 4. Árvore de Ponto de Vistas



Fonte: Elaborada pelos autores.

Após a construção da Árvore de PVFs, é necessário a construção dos descritores e definição dos níveis de ancoragem em relação a cada PVF. Esta etapa foi realizada junto ao decisor, que informou os níveis de ancoragem – superiores e inferiores – e valores de referência para cada PVF. A referência superior está indicada na cor verde, enquanto que a referência inferior está destacada na cor azul. A ponderação de atratividade do PVF preço está estruturada em forma decrescente, isto é, quanto menor o preço, maior a atratividade. Os níveis de preço e as referências de ancoragem foram pontuados pelo decisor, com base nas seguintes perguntas: “qual valor você considera i) um preço muito bom? ii) um preço bom? iii) um preço neutro? iv) um preço ruim? v) um preço muito ruim?” Para identificar os níveis de ancoragem, as seguintes perguntas foram feitas ao decisor: “i) dentre os níveis de preço citados, qual deles é um nível

bom? ii) qual deles é um nível neutro?” Com as respostas desse questionário, foram elaborados cinco níveis de preço e os respectivos níveis de ancoragem, exibidos na figura 5.

Figura 5. Níveis quantitativos e ancoragem para PVF preço

Níveis de performance: _____

-	+	Nível quantitativo
1		4
2		4.5
3		5
4		5.5
5		6

Indicador : Preço por KG
Abreviado : R\$/kg Unidade: KG

Fonte: Elaborada pelos autores.

Já a ponderação do PVF qualidade foi estruturada de forma crescente e em escala qualitativa. A estruturação dos níveis qualitativos se baseou em análise das amostras recebidas pela empresa e pelo seguinte questionário: “considerando a qualidade das amostras recebidas você poderia citar as características i) de uma amostra muito boa; ii) de uma amostra boa; iii) de uma amostra suficiente; iv) de uma amostra fraca”. Para identificar os níveis de ancoragem, as seguintes perguntas foram feitas ao decisor: “dentre os níveis qualidade, i) qual deles é um nível bom? ii) qual deles é um nível neutro?” Assim, os níveis qualitativos do PVF qualidade foram divididos em quatro categorias: “Muito Boa”, “Boa”, “Suficiente” e “Fraca”. A figura 6 sintetiza esses dados.

Figura 6. Níveis qualitativos e ancoragem para PVF qualidade

Níveis de performance: _____

-	+	Nível qualitativo	Abreviado
1		Produto com alta diversidade de grãos, cereais e frutas cristalizadas	Muito Boa
2		Produto com diversidade de grãos e frutas cristalizadas com poucos cereais	Boa
3		Produto com diversidade razoável de grãos, cereais e frutas cristalizadas	Suficiente
4		Produto com pouca diversidade de grãos, cereais e frutas cristalizadas	Fraca

Fonte: Elaborada pelos autores.

A ponderação do PVF prazo entrega está estruturada de forma crescente, isto implica dizer que quanto maior o prazo, maior a atratividade. A estruturação dos níveis qualitativos dos prazos se baseou no banco de dados da empresa e nas seguintes perguntas: “em relação ao prazo de entrega você pode pontuar em quantos dias a entrega deve ocorrer para ser considerado i) um prazo muito bom? ii) um prazo bom? iii) um prazo ruim? iv) um prazo muito ruim?”. Para ponderar os níveis de ancoragem, as seguintes perguntas foram feitas: “dentre os prazos de

entrega, i) qual deles é um nível bom? ii) qual deles é um nível neutro?” Assim foram definidos quatro níveis qualitativos para o PVF prazo entrega, e estão apresentados na figura 7.

Figura 7. Níveis qualitativos e ancoragem para PVF prazo entrega

Níveis de performance: _____

-	+	Nível qualitativo	Abreviado
1		Entrega em menos de 5 dias	-5
2		Entrega entre 5 e 7 dias	5 e 7
3		Entrega entre 7 e 10 dias	7 e 10
4		Entrega em mais de 10 dias	+10

Fonte: Elaborada pelos autores.

A ponderação do PVF prazo pagamento foi estruturada em ordem crescente, ou seja, quanto maior o prazo para efetuar o pagamento, maior é a atratividade. A partir das informações extraídas do orçamento realizado, foi feito o seguinte questionário ao decisor: “em relação ao prazo de pagamento oferecido pelos fornecedores, você poderia pontuar i) qual o prazo de pagamento muito bom? ii) qual o prazo de pagamento bom? iii) qual o prazo de pagamento razoável? iv) qual o prazo de pagamento neutro? v) qual o prazo de pagamento ruim?”. Para os níveis de ancoragem o decisor foi perguntado: “dentre os prazos de pagamento, i) qual deles é um nível bom? ii) qual deles é um nível neutro?” Dessa forma, foram definidos cinco níveis de pagamento, apresentados na figura 8.

Figura 8. Níveis qualitativos e ancoragem para PVF prazo pagamento

Níveis de performance: _____

-	+	Nível qualitativo	Abreviado
1		Parcelado em 4 vezes, com vencimentos em 28/35/42/49 dias	28/35/42/49
2		Parcelado em 3 vezes, com vencimento em 28/35/42 dias	28/35/42
3		Parcelado em 2 vezes, com vencimentos em 30 e 45 dias	30/45
4		Parcela única, com vencimento em 30 dias	30 dias
5		Parcela única, pagamento à vista	à vista

Fonte: Elaborada pelos autores.

Por fim, a ponderação do PVF pós-venda foi estruturada com critérios qualitativos. Os dados referentes ao suporte oferecido pelos fornecedores foram extraídos do banco de dados da empresa. Em posse dos dados, foi perguntado ao decisor as seguintes questões: “considerando o suporte de pós-venda oferecido pelos fornecedores, você poderia pontuar as características i) de um suporte muito bom? ii) de um suporte bom? iii) de um suporte ruim?” Para a identificação dos níveis de ancoragem, as seguintes perguntas foram feitas: “dentre os níveis de suporte

oferecidos, i) qual deles é um nível bom? ii) qual deles é um nível neutro?” Assim, foram definidos os níveis qualitativos do PVF pós-venda, exibidos na figura 9.

Figura 9. Níveis qualitativos e ancoragem para PVF pós-venda

Níveis de performance:

-	+	Nível qualitativo	Abreviado
1		O fornecedor presta suporte imediato	Muito Bom
2		O fornecedor atende as solicitações em pouco tempo	Bom
3		O fornecedor atende as solicitações em tempo razoável	Neutro
4		O fornecedor não demonstra proatividade em atender solicitações	Ruim

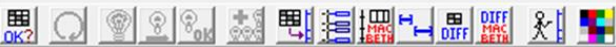
Fonte: Elaborada pelos autores.

Depois de construídos os descritores, seguiu-se para a etapa de avaliação dos fornecedores com base nos PVFs definidos. Nesta etapa, o foi solicitado ao decisor avaliações de atratividade para cada PVF, numa comparação par a par. Para a realização destes julgamentos, foi direcionado para o decisor a seguinte pergunta: “Considerando que uma opção é superior à outra, quão mais atrativa ela é?”. Dessa forma, foi possível ponderar a diferença de atratividade nos PVFs. A ponderação de atratividade se fundamenta numa escala semântica, proposta pelo método MACBETH e é composta por seis níveis: extrema, muito forte, forte, moderada, fraca e muito fraca. A avaliação de atratividade foi empregada em cada um dos PVFs, conforme apresentados pela figura 10, figura 11, figura 12, figura 13 e figura 14.

Figura 10. Matriz de atratividade para PVF preço

	4	4.5	5	5.5	6	Escala atual	
4	nula	mt. fraca	fraca	moderada	forte	150	extrema
4.5		nula	frac-mod	moderada	mod-fort	100	mt. forte
5			nula	moderada	mod-fort	0	forte
5.5				nula	moderada	-200	moderada
6					nula	-400	fraca
							mt. fraca
							nula

Julgamentos consistentes

OK? 

Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 11. Matriz de atratividade para PVF qualidade

	Muito Boa	Boa	Suficiente	Fraca	Escala atual	
Muito Boa	nula	moderada	forte	extrema	175	extrema
Boa		nula	forte	extrema	100	mt. forte
Suficiente			nula	forte	0	forte
Fraca				nula	-125	moderada
						fraca
						mt. fraca
						nula

Julgamentos consistentes

OK? 

Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 12. Matriz de atratividade para PVF prazo entrega

	-5	5 e 7	7 e 10	+10	Escala atual	
-5	nula	forte	fort-mfort	extrema	200	extrema
5 e 7		nula	forte	extrema	100	mt. forte
7 e 10			nula	forte	0	forte
+10				nula	-125	moderada
Julgamentos consistentes						fraca
						mt. fraca
						nula

Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 13. Matriz de atratividade para PVF prazo pagamento

	28/35/42/49	28/35/42	30/45	30 dias	à vista	Escala atual	
28/35/42/49	nula	moderada	forte	fort-mfort	mt. forte	400	extrema
28/35/42		nula	moderada	moderada	mod-fort	250	mt. forte
30/45			nula	frac-mod	moderada	100	forte
30 dias				nula	fraca	0	moderada
à vista					nula	-100	fraca
Julgamentos consistentes							mt. fraca
							nula

Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 14. Matriz de atratividade para PVF pós-venda

	Muito Bom	Bom	Neutro	Ruim	Escala atual	
Muito Bom	nula	forte	fort-mfort	extrema	200	extrema
Bom		nula	forte	mt. forte	100	mt. forte
Neutro			nula	forte	0	forte
Ruim				nula	-100	moderada
Julgamentos consistentes						fraca
						mt. fraca
						nula

Fonte: Elaborada pelos autores.

Note que, todos os julgamentos foram consistentes. Com base nos níveis de ancoragem pontuados pelo decisor na etapa anterior, foi criada uma função de valor linear. Os níveis de ancoragem superior (em verde) recebem a pontuação de 100, ao passo que os níveis de ancoragem inferior recebem a pontuação 0. Nesse sentido, qualquer posição acima do nível superior indica valores muito atrativos. Por outro lado, posições abaixo do nível inferior indicam níveis menores de atratividade.

Após a ponderação de atratividade dos PVFs, foi necessário construir uma ordenação de preferências inter critério. Este processo foi realizado em duas etapas, primeiro foi feita uma ordenação decrescente de atratividade dos PVFs e, posteriormente, foi construída uma matriz de ponderação para os julgamentos de atratividade. Na primeira etapa foi apresentado ao decisor

a seguinte questão: “Suponha que um fornecedor esteja com todos os critérios nos níveis neutros, para que este fornecedor se torne mais atrativo, se você pudesse melhorar um nível em um dos 5 critérios, qual você escolheria? Mantendo todos os outros no nível neutro”. Essa pergunta foi repetida até que todos os critérios estivessem organizados em ordem decrescente de atratividade. Após a ordenação de preferências inter critério, foi realizado o julgamento de atratividade de maneira análoga aos realizados em cada PVF. Nessa etapa, foi perguntado ao decisor: “considerando que um critério é superior a outro, quão mais atrativo ele é?”. Essa comparação par a par foi realizada em cada critério para o preenchimento da matriz de atratividade inter critério, apresentada pela figura 15.

Figura 15. Matriz de atratividade inter critério

	[Custo]	[Qualidade]	[Entrega]	[Pagamento]	[pós-venda]	[tudo inf.]	Escala atual	
[Custo]	nula	mt. fraca	mod-fort	forte	fort-mfort	positiva	32	extrema
[Qualidade]		nula	mod-fort	forte	mt. forte	positiva	30	mt. forte
[Entrega]			nula	forte	mfort-extr	positiva	24	forte
[Pagamento]				nula	moderada	positiva	12	moderada
[pós-venda]					nula	positiva	2	fraca
[tudo inf.]						nula	0	mt. fraca

Julgamentos consistentes

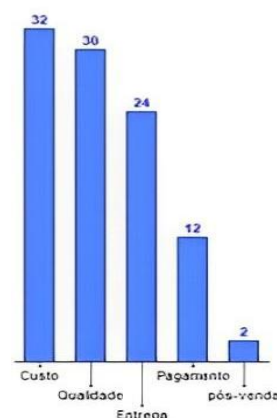


Fonte: Elaborada pelos autores.

5. RESULTADOS

Após a conclusão da etapa de avaliação, o software M-MACBETH calculou o peso de cada um dos PVFs de acordo com a avaliação de atratividade fornecida pelo decisor. Note que os PVFs custo e qualidade são os critérios mais relevantes para o decisor na escolha de fornecedores (32% e 30% respectivamente). Prazo de entrega é o terceiro critério mais relevante da análise (24%), seguido por prazo de pagamento (12%) e pós-venda (2%). A figura 16 apresenta estes dados.

Figura 16. Peso dos PVFs



Fonte: Elaborada pelos autores.

Com os pesos dos PVFs calculados, o software apresenta a tabela de pontuação global, exibindo a pontuação de cada um dos fornecedores da análise. Os resultados demonstraram que o melhor fornecedor foi o AVT (142 pontos), seguido por PMV (123,7 pontos), VIT (-7,6 pontos) e PNO (-48,8 pontos). Portanto, a análise indicou que o fornecedor AVT deve ser o escolhido, conforme exibido pela figura 17.

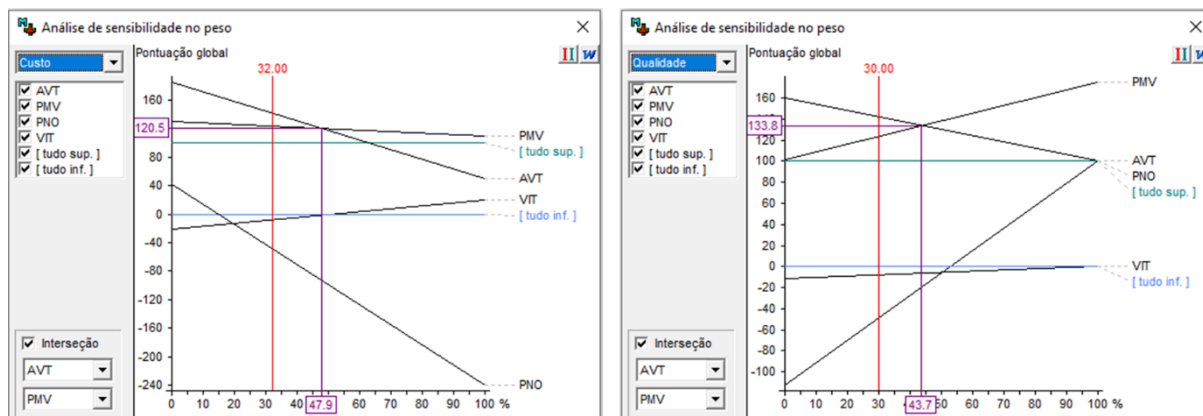
Figura 17. Tabela de pontuação global

Opções	Global	Custo	Qualidade	Entrega	pós-venda	Pagamento
AVT	142.00	50.00	100.00	200.00	0.00	400.00
PMV	123.70	110.00	175.00	100.00	0.00	100.00
PNO	-48.80	-240.00	100.00	0.00	-100.00	0.00
VIT	-7.60	20.00	0.00	0.00	-100.00	-100.00
[tudo sup.]	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
[tudo inf.]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pesos :		0.3200	0.3000	0.2400	0.0200	0.1200

Fonte: Elaborada pelos autores.

A fim de verificar a validade das recomendações fornecidas pela tabela de pontuação global, foram realizadas as análises de sensibilidade e de robustez no modelo. A análise de sensibilidade investiga o impacto no resultado global a partir de uma alteração no peso de algum dos PVFs. Já a análise de robustez investiga como a incerteza pode influenciar os resultados do modelo. Na análise de sensibilidade, foram considerados os PVFs preço e qualidade por se tratarem dos critérios mais importantes para o decisor. Observou-se que, caso houvesse uma variação positiva de 15,9% no peso do PVF preço, haveria uma alteração na classificação dos fornecedores e, assim, o fornecedor PMV passaria a ser o melhor fornecedor da análise. Em relação ao PVF qualidade, verificou-se que se o peso do critério qualidade aumentasse de 30% para 43,7%, o fornecedor PMV passaria a ser o fornecedor mais atrativo da análise. A figura 18 ilustra as informações.

Figura 18. Análise de sensibilidade nos PVFs preço e qualidade



Fonte: Elaborada pelos autores.

Por fim, este estudo realizou uma análise de robustez, com o objetivo de incorporar algum grau de incerteza ao modelo. Note que as informações referentes ao custo da mercadoria e prazo de pagamento foram estabelecidas no orçamento e, conseqüentemente, apresentam menor possibilidade de alteração. Além disso, as informações acerca da qualidade do produto foram previamente analisadas através de amostras enviadas pelos fornecedores, o que reduziu a possibilidade de incerteza sobre a qualidade do produto. Ademais, os dados referentes ao critério de pós-venda foram coletados do banco de dados da própria empresa, o que promove robustez à informação. No entanto, as informações sobre o prazo de entrega, mesmo que fornecidas no orçamento, são apenas estimativas que estão condicionadas a diversas variáveis de incerteza - como por exemplo, condições da estrada, confiabilidade dos veículos, condições climáticas e etc. Nesse sentido, optou-se por adicionar um nível de incerteza de 16% ao PVF prazo entrega, com o intuito de verificar a robustez da análise. A figura 19 exibe que, mesmo com um nível de 16% de incerteza sobre o prazo de entrega, o fornecedor AVT domina os fornecedores VIT e PNO, além de dominar aditivamente o fornecedor PMV. Portanto, é robusto dizer que, mesmo com a inserção de incerteza, o resultado de prioridade das alternativas não apresenta alterações significativas.

Figura 19. Análise de robustez

	AVT	PMV	[tudo sup.]	[tudo inf.]	VIT	PNO
AVT	=	+	+	▲	▲	▲
PMV		=	+	▲	▲	▲
[tudo sup.]			=	▲	▲	▲
[tudo inf.]				=	+	+
VIT					=	+
PNO						=

Informação local				Informação global			
	ordinal	MACBETH	cardinal	ordinal	MACBETH	restrições	cardinal
Custo	☒	☒	☒ ±0%	☒	☒	☒	☒ ±0%
Qualidade	☒	☒	☒ ±0%	☒	☒	☒	☒ ±0%
Entrega	☒	☒	☒ ±16%	☒	☒	☒	☒ ±16%
pós-venda	☒	☒	☒ ±0%	☒	☒	☒	☒ ±0%
Pagamento	☒	☒	☒ ±0%	☒	☒	☒	☒ ±0%

Fonte: Elaborada pelos autores.

6. CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou que a aplicação do método MACBETH é uma forma eficiente de auxiliar empresas na seleção de fornecedores. A análise de decisão multicritério contribuiu com o decisor através da estruturação de um modelo que considerou os principais critérios de decisão, julgamentos de atratividade e ponderação dos pesos de cada ponto de vista fundamental. Os PVFs custo e qualidade foram considerados os mais relevantes pelo decisor, seguidos pelo prazo de entrega, prazo de pagamento e pós-venda. Com base nesses pesos, o fornecedor AVT foi identificado como a melhor opção, obtendo a maior pontuação global.

A análise de sensibilidade evidenciou que variações nos pesos dos critérios de custo e qualidade poderiam alterar significativamente a classificação dos fornecedores, destacando a importância dessas variáveis na decisão final. No entanto, a análise de robustez, que incorporou um nível de incerteza de 16% no prazo de entrega, confirmou a dominância do fornecedor AVT mesmo sob condições de incerteza, assegurando a robustez das recomendações.

Por fim, este estudo oferece algumas contribuições tanto para a área de pesquisa sobre seleção de fornecedores quanto para as abordagens metodológicas do MACBETH. Primeiro, este trabalho demonstrou viabilidade para a aplicação do MACBETH para o problema de seleção de fornecedores, evidenciando a eficiência do método em contextos complexos onde múltiplos fatores devem ser considerados simultaneamente. Além disso, a aplicação prática do modelo em um estudo de caso real oferece uma validação empírica do método. Para mais, ao integrar variáveis de incerteza no processo de seleção de fornecedores, o estudo apresenta uma inovação na gestão de riscos, promovendo uma visão mais holística e resiliente do processo de decisão.

REFERÊNCIAS

BANA E COSTA, C. A. et al. A multi-criteria model for auditing a Predictive Maintenance Programme.

BANA, Carlos António et al. O método MACBETH e aplicação no Brasil. **Engevista**, v. 15, n. 1, p. 3-27, 2013.

BAYAZIT, Ozden; KARPAK, Birsan; YAGCI, Ayhan. A purchasing decision: Selecting a supplier for a construction company. **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, v. 15, p. 217-231, 2006.

European Journal of Operational Research, v. 217, p. 381-393, 2012.

GHODSYPOUR, S. H.; O'BRIEN, C. A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming. *Production Economics* v. 56. n.57,p.199-212, 1998.

GONÇALVES, Allyce Vitorino; HERNANDEZ, Cecilia Toledo; CARNEIRO, Christian Augusto Guimarães Vargas. UMA PROPOSTA DE SISTEMÁTICA PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES EM GERENCIAMENTO DE PROJETOS.

GOVINDAN, Kannan et al. Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: a literature review. **Journal of cleaner production**, v. 98, p. 66-83, 2015.

KARANDE, Prasad; CHAKRABORTY, Shankar. Using MACBETH method for supplier selection in manufacturing environment. **International Journal of Industrial Engineering Computations**, v. 4, n. 2, p. 259-279, 2013.

PAMUCAR, Dragan; TORKAYESH, Ali Ebadi; BISWAS, Sanjib. Supplier selection in healthcare supply chain management during the COVID-19 pandemic: a novel fuzzy rough decision-making approach. **Annals of Operations Research**, v. 328, n. 1, p. 977-1019, 2023.

PERUCIA, A.; BALESTRIN, A.; VERSCHOORE, J. Coordenação das atividades produtivas na indústria brasileira de jogos eletrônicos: hierarquia, mercado ou aliança? *Produção*, v. 21, n. 1, 2011.

SCHEIN, E. 1999. *Process consultation revisited: building the helping relationship*, Reading, MA, Addison-Wesley.

SILVA, Vanessa BS; SCHRAMM, Fernando. A Multi-criteria Decision Support System for Supplier Selection. **Decision Models in Engineering and Management**, p. 129-141, 2015.

SLACK, N. et al. *Gerenciamento de operações e de processos: princípios e práticas de impacto estratégico*. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

SOLANA-GONZÁLEZ, Pedro et al. Tomada de decisão na seleção de fornecedores: implicações para a logística e disposição de produtos. 2022.

SONMEZ, M. A Review and Critique of Supplier Selection Process and Practices. Business School Occasional Papers Series, Paper 2006:1, Loughborough University, 2006.

TORRES, Bianca Vieira Bette; SIMON, Alexandre Tadeu. Seleção de fornecedores sustentáveis: Os critérios mais utilizados para tomada de decisão. **Tópicos em Administração Volume 42**, p. 69.

ZAMAN, S. I.; KHAN, S. A.; KUSI-SARPONG, S. Investigating the relationship between supply chain finance and supply chain collaborative factors. **Benchmarking: An International Journal**, [s. l.], 2023.