



## C A P Í T U L O   8

# APLICAÇÃO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO NA GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS: UMA ABORDAGEM HÍBRIDA AHP-COPRAS

**José Martino Neto**  
Fatec Guarulhos

**Osmildo Sobral dos Santos**  
Fatec Guarulhos

**Euclides Reami Junior**  
Fatec Guarulhos

A economia global está entrando em forte desaceleração em meio a ameaças de vários conflitos entre nações, aumento de impostos de importação e exportação sem regulamentações adequadas, aumento da inflação e desigualdade de renda, o que pode comprometer a recuperação de economias emergentes e em desenvolvimento, de acordo com o último relatório do Banco Mundial. A Cadeia de Suprimentos, que conecta clientes, fabricantes e fornecedores, também é mais suscetível a riscos de interrupção ao enfrentar cenários como o que estamos vivenciando atualmente. Os gestores podem analisar alternativas para mitigar a situação. O objetivo deste artigo é apresentar um modelo matemático para avaliar riscos de fornecimento em cadeias de suprimentos afetadas por crises econômicas. Um modelo de análise de decisão multicritério (MCDA) é desenvolvido com base na literatura estabelecida sobre Gestão da Cadeia de Suprimentos. O Processo de Hierarquia Analítica (AHP) mais popular e o método emergente de Avaliação Proporcional Complexa (COPRAS) foram escolhidos para analisar esses riscos. O modelo é testado em um estudo de caso de uma empresa no segmento de auto-peças que opera no modelo de Cadeia de Suprimentos eficiente, tendo como resultado da aplicação do método que o risco de interrupção por eventos econômicos externos pode ser considerado como o mais crítico.

## INTRODUÇÃO

As mais recentes inovações tecnológicas têm proporcionado ferramentas completamente novas e altamente eficazes para a Gestão da Cadeia de Suprimentos (GCS). Essas Cadeia de Suprimentos (CS) têm se transformado a um ritmo impressionante, trazendo vantagens competitivas significativas para as empresas e se tornando a essência fundamental da competição empresarial [1]. No entanto, analisando o atual cenário com diversas crises globais, que trouxeram um estado de desordem para empresas, indústrias e economias, as CS terão que se adaptar devido às transformações locais e globais nas sociedades, impactando a vida de todos. A importância da competitividade das CS para as empresas em uma economia turbulenta tem chamado a atenção da comunidade científica para as questões de melhoria da eficiência, confiabilidade e sustentabilidade das Cadeia de Suprimentos [2, 3].

As cadeias de suprimentos podem ser categorizadas em cadeias eficientes ou responsivas, considerando seus processos e formas de operação [4]. As principais características de uma Cadeia de Suprimentos eficiente são atender às demandas com os menores custos possíveis, maior utilização de ativos, com margens menores devido ao maior número de concorrentes no mesmo segmento de mercado, menor nível de serviço, evitando custos adicionais, e utilizando os meios de transporte mais baratos. As principais habilidades das cadeias de suprimentos responsivas podem ser descritas como aquela que respondem a amplos escopos de quantidades necessárias, atende a prazos curtos, gerencia um mix de produtos mais amplo, produz produtos inovadores e atinge um alto nível de serviço [4,5]. Na prática, a GCS analisa e define combinações adequadas de eficiência e responsividade e deve atuar de acordo com indicadores financeiros, bem como com a satisfação do cliente, mas pensando na sustentabilidade. Diante desse cenário afetado por crises econômicas, quais seriam os riscos de interrupção para cadeias de suprimentos eficientes?

Embora os impactos dos conflitos globais tenham sido discutidos nos últimos anos, é muito difícil para as organizações estarem preparadas para enfrentá-los devido ao grande número de variáveis envolvidas [6]. Este artigo fornece um modelo matemático para avaliar o risco de cadeias de suprimentos eficientes. Para tanto, será realizada uma revisão bibliográfica, avaliando os efeitos das crises recentes na SC. Um modelo multicritério [7] é desenvolvido para avaliar benefícios, custos, oportunidades e riscos. O modelo MCDA foi obtido com uma aplicação híbrida do *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e *Complex Proportional Assessment* (COPRAS).

Como contribuição aplicada, este artigo visa demonstrar o uso alternativo de métodos MADM não usuais. A partir da elaboração da modelagem matemática e dos respectivos resultados, ela pode ser utilizada como ferramenta para auxiliar

gestores na avaliação de possíveis alternativas, possibilitando, por meio da análise das variáveis e critérios envolvidos, maior assertividade na tomada de decisões.

Este artigo está organizado da seguinte forma: na Seção 2, envolve o trabalho de pesquisa de referências relevantes. Na Seção 3, fornece uma elaboração detalhada do modelo matemático; na Seção 4, apresenta os resultados; e na Seção 5, apresenta a conclusão e aponta para futuras direções de pesquisa.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção apresenta uma breve teórica sobre a Gestão da Cadeia de Suprimentos e os respectivos riscos envolvidos, tanto em cadeias eficientes e responsivas, e, em seguida, descreve os métodos MADM aplicados.

### Cadeia de Suprimentos e Gestão de Riscos

A GCS pode ser definida como um conjunto de atividades que envolve a compra de materiais e serviços, sua transformação em produtos acabados e a conexão de fornecedores e clientes em todo o mundo [8]. As CS são categorizadas como fisicamente eficientes e responsivas ao mercado [4,9], com atributos muito diferentes, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Atributos para cadeias eficientes e responsivas

Atributos	Cadeias Eficientes	Cadeias Responsivas
Objetivo Principal	Atender no menor custo possível	Atender rapidamente a demanda
Preço	Menores margens operacionais	Maiores margens operacionais
Fabricação	Altos volumes de produção	Fabricação flexível em função da incerteza de demanda
Estoque	Reduzido para evitar custos desnecessários	Estoque para atender variação de demanda
Transporte	Menores possíveis	Necessários para atender o mais rápido possível
Fornecedores	Baseado em custos	Baseados em flexibilidade, confiabilidade e rapidez
Desenho do Produto	Padronização	Inovação

Existem muitas variáveis que devem ser consideradas no processo de construção de uma SC. Variação da demanda, diferenciação de produtos, incerteza de mercado e aumento da concorrência justificam a necessidade de uma CS mais flexível e ágil [10]. No entanto, a turbulência econômica associada a conflitos internacionais recentes tem um enorme impacto na CS. As grandes crises, como recentemente a pandemia, são consideradas disruptivas, tanto em relação à distribuição de produtos e serviços quanto em relação à economia circular [11]. Entre os principais problemas identificados estão a ruptura dos elos internacionais de fornecimento, o forte

aumento dos preços dos fornecedores, a interrupção do transporte, a insuficiência de matérias-primas para muitos setores industriais e vulnerabilidades financeiras [12-13]. Medidas para controlar esses impactos alteraram ecossistemas, redes e fluxos de empresas em escalas sem precedentes, desafiando a CS, sob severa incerteza [14].

Toda essa instabilidade de mercado traz riscos. O risco pode ser considerado um fator importante na tomada de diferentes decisões [15-16]. Na literatura, existem dois tipos principais de riscos envolvidos na rede SC:

- Riscos de interrupção: interrupções de baixa frequência, geralmente causadas por desastres ou grandes ameaças, causando danos consideráveis em toda a CS;
- Riscos operacionais: incertezas profundamente enraizadas causadas por perturbações corriqueiras de natureza frequente e pequenas interrupções.

O foco deste artigo é analisar os riscos de interrupção sob a perspectiva de consumidores, fabricantes e fornecedores, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2: Principais riscos de disruptão envolvendo CS

<b>Fonte</b>	<b>Causas</b>	<b>Referencias</b>
Clientes	Mudança no comportamento	[17-18]
	Variação da demanda	
Fabricantes	Desinformação	
	Redução eficiencia ou produtividade	[19-21]
	Fechamento de fábricas	
Fornecedores	Problemas abastecimento	
	Atrasos na entrega	
	Desinformação	[10,22,23]
	Colapsos no transporte global	
	Logística interna	

Da literatura de pesquisa, a Gestão de Riscos tornou-se extremamente importante em ambientes em rápida mudança, trazendo abordagens novas e mais adaptáveis [24]. Vários estudos estão sendo desenvolvidos, destacando os efeitos das pandemias nos ambientes de negócios e na sociedade, diretamente associados às taxas de crescimento do emprego [25]; analisando estratégias de mitigação de risco para alimentos perecíveis SC e pesquisa sobre Gestão de Riscos para mitigar os impactos da interrupção na CS [17]; estudos de um modelo não linear para fornecer benefícios econômicos a CS com alta flutuação de demanda [26] e o uso de big data para

ajudar a restaurar a força da CS; desenvolvimento de modelo usando mecanismos baseados em contrato considerando o risco de incerteza de demanda, interrupção de fornecimento e rendimento aleatório [27]; resumir as finanças atuais da CS e suas tendências [28]; e o desenvolvimento do conceito de “governança de risco da CS” que abrange vários tipos de atores [29] entre outros. Este artigo inova com a proposta de utilização da Análise de Decisão por Multicritérios (MCDA) para avaliar os riscos de disruptão em CS. O Método de Análise Hierárquico (AHP) e o método de Avaliação Proporcional Complexa (COPRAS) são apresentados, bem como um modelo híbrido de MCDA com a aplicação dos métodos AHP e COPRAS.

## Método de Análise Hierárquico

O AHP é um dos métodos MADM mais populares, aplicado em diversas áreas, desenvolvido por Saaty, e é considerado uma ferramenta simples para resolver problemas complexos, pois permite estabelecer modelos de decisão por meio de processos com componentes qualitativos e quantitativos [30]. Qualitativamente, permite a formação de níveis hierárquicos, decompondo um problema complexo, em pesquisas de explicação de causa e efeito, em etapas que formam uma cadeia linear [30]. Quantitativamente, utiliza pares de comparação para calcular os pesos dos elementos em cada nível e determinar a prioridade global considerando todos os critérios envolvidos.

Em outras palavras, três princípios norteiam a resolução de problemas utilizando AHP: complexidade da estruturação (decomposição); comparação e julgamentos; e a síntese de prioridades [31]. Para lidar com a complexidade de um processo de tomada de decisão, é necessário identificar todos os diferentes fatores que afetam a decisão e organizá-los em uma estrutura hierárquica de vários níveis sucessivos e decrescentes, começando pelo objetivo final até os critérios, subcritérios e alternativas [32]. Uma estrutura hierárquica usada como exemplo com três critérios e quatro alternativas é ilustrada na Figura 1 [33]. O objetivo da decisão é colocado no primeiro nível hierárquico. No segundo nível estão os critérios: C1, C2 e C3. No último nível hierárquico estão as alternativas, A1, A2, A3 e A4 [34].

O significado de um modelo hierárquico é que os elementos em um nível inferior precisam ser avaliados em relação aos elementos em um nível superior. Em seguida, os critérios devem ser comparados em pares em relação ao objetivo da decisão. A escala Saaty, mais comumente chamada de escala fundamental de números absolutos [35], é usada para comparações em pares. A escala Saaty é uma escala linear de 1 a 9, com 1 para “igual importância”, 3 para “fraca importância de um sobre o outro”, 5 para “forte importância”, 7 para “muito forte importância” e 9 para “absoluta importância”, além da reciprocidade nas comparações, por meio de [36].

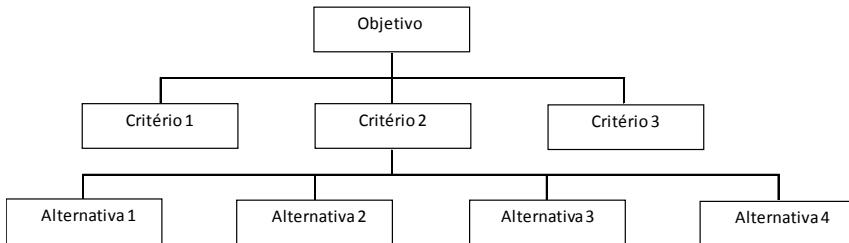


Figura 1: Estrutura hierárquico com três critérios e quatro alternativas

Valores intermediários, como 2, 4, 6 e 8, e até mesmo números racionais podem ser usados, se necessário [33]. Uma matriz de comparações que satisfaz todas as relações de transitividade possíveis é uma matriz 100% consistente. O autovalor de uma matriz de comparação consistente será [37]. A verificação de consistência é uma das grandes vantagens do AHP em relação a outros métodos MADM. É desejável que o índice de consistência seja próximo de zero. Caso contrário, os julgamentos podem ser revisados para melhorar a consistência.

Os pesos para os atributos, geralmente chamados de prioridades de critérios, são obtidos pela normalização do autovetor direito  $w$  da matriz de comparação pareada  $A$ , como na Eq. (1), onde  $\lambda_{max}$  é seu autovalor máximo.

$$A_w = \lambda_{max} w \quad (1)$$

O índice de consistência  $\mu$  é uma medida da consistência de uma matriz pareada, como na Eq. (2), onde  $m$  é o número de atributos.

$$\mu = \frac{(\lambda_{max} - m)}{(m - 1)} \quad (2)$$

Finalmente, calcula-se a razão de consistência CR, que é a melhor medida, pois compara  $\mu$  com um índice aleatório RI, calculado pelo Oak Ridge Laboratory, com mais de 50.000 matrizes [38], como na Eq. (3).

Matrizes consistentes têm  $\lambda_{max} = m$ , então  $\mu = 0$  e CR=0. Matrizes inconsistentes têm pelo menos uma comparação, e seu recíproco,  $a_{ij} \neq a_{ik} a_{kj}$ , resultando em  $\lambda_{max} > m$ . É desejável que CR  $\leq 0,1$ , então A pode ser aceito, significando “conformidade com a prática anterior” ou que os tomadores de decisão não mudaram de ideia ao preencher uma matriz de comparação pareada [39]. As alternativas devem ser avaliadas em relação a cada critério, resultando no desempenho  $x_{ij}$  da alternativa i em relação ao critério j. O mesmo procedimento de comparação pareada pode ser usado para obter as preferências das alternativas em relação a cada critério.

Para determinar os valores de desempenho  $x_{ij}$ , a Tabela 3 apresenta sete níveis de desempenho para avaliar as alternativas em relação aos critérios [46].

Tabela 3: Níveis de desempenho

Nível	Desempenho
Excelente	1.0
Muito Alto	0.9
Alto	0.8
Médio	0.7
Regular	0.6
Baixo	0.5
Muito Baixo	0.4

O desempenho das alternativas é obtido ponderando-se os desempenhos locais das alternativas  $x_{ij}$  pelos pesos dos critérios  $w_j$ , como na Eq. (4).

Neste artigo, propõe-se um modelo híbrido AHP-COPRAS. O AHP será aplicado para ponderar os critérios e COPRAS para avaliação das alternativas.

$$y_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} w_j \quad (4)$$

## Avaliação Proporcional Complexa (COPRAS)

O método COPRAS foi proposto por Zavadskas e sua lógica é priorizar alternativas possíveis para a tomada de decisão com base em critérios benéficos e não benéficos, além de funcionar como uma avaliação de classificação entre as alternativas analisadas

[40]. O método possui uma abordagem lógica e sistemática, essencial para a tomada de decisão, visto que esta atividade é complexa e requer diversos critérios [41].

Entretanto, se o método COPRAS for comparado com os mais utilizados como AHP, ANP (*Analytic Network Process*) ou TOPSIS (*Technique of Order Preference by Similarity to Ideal Solution*), ele pode dizer que é relativamente novo e está em evolução [42]. Neste método, o melhor valor alternativo é selecionado encontrando-se a solução para o melhor valor ideal e a pior solução ideal. É utilizado em problemas da área de engenharia para avaliar e selecionar projetos alternativos [43]. Pode-se afirmar que o método MADM assume a dependência direta e proporcional da significância e do grau de utilidade das versões investigadas em um sistema de descrição adequado de alternativas e nos valores e pesos dos critérios [44].

A determinação da significância, da prioridade de ordem e do grau de utilidade das alternativas é realizada nas cinco etapas a seguir:

Primeira etapa: Construir uma matriz de tomada de decisão normalizada ponderada. O objetivo é obter valores ponderados adimensionais dos índices comparativos. Quando os valores adimensionais dos índices são conhecidos, todos os critérios, originalmente com dimensões diferentes, podem ser comparados de acordo com a Eq. (5), onde  $x_{ij}$  é o valor do critério i, no atributo ou alternativa j de uma solução, m é o número de critérios, n é o número de alternativas a serem comparadas.

$$X = [x_{ij}]_{mn} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Segunda etapa: Normalizar a matriz de decisão, utilizando a Eq. (6).

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (6)$$

Terceira etapa: Ponderar a matriz de tomada de decisão normalizada  $V = (v_{ij})$ , onde cada  $v_{ij}$  representa o desempenho normalizado e ponderado do critério  $i$ , pelo peso ( $w$ ), do critério  $j$ , conforme Eq. (7).

$$v_{ij} = w_j r_{ij} \quad (7)$$

As melhores alternativas são aquelas que apresentam o maior para os critérios que devem ser maximizados e o mínimo para os critérios que devem ser minimizados. indica a melhor alternativa, ou seja, a solução ideal com a mesma lógica, indica uma solução anti-ideal.

Quarta etapa: Os valores dos critérios devem ser somados, onde valores maiores são mais desejáveis (a direção da otimização é a maximização), e vice-versa. A solução ideal é definida pelos melhores valores de classificação das alternativas para cada critério individual, e vice-versa. A solução ideal negativa é representada pelos piores valores de classificação das alternativas. Os termos “a melhor” e “a pior” são interpretados como cada critério individualmente em relação aos critérios de maximização e minimização. Os cálculos das somas dos dados normalizados, para o critério positivo e para o critério negativo, são apresentados pelas Eq. (8) e Eq. (9), onde representa os valores dos critérios positivos que se deseja maximizar, pois descrevem benefícios, enquanto , representa os valores dos critérios negativos, que se deseja minimizar por serem custos ou não benefícios [43-44].

$$S_{+j} = \sum_{i=1}^m v_{+ij}, \quad \text{to } i=1, \dots, m \quad \text{and } j=1, \dots, n \quad (8)$$

$$S_{-j} = \sum_{i=1}^m v_{-ij}, \quad \text{to } i=1, \dots, m \quad \text{and } j=1, \dots, n \quad (9)$$

Quinta etapa: Determinar a significância relativa de cada alternativa, onde  $S_{min}$  é o valor mínimo aceito de  $S_{-j}$ , conforme Eq. (10).

$$Q_j = S_{+j} + \frac{\sum_{j=1}^n S_{-j}}{S_{-j} \sum_{j=1}^n \frac{S_{-min}}{S_{-j}}} \quad \text{to } j=1, \dots, n \quad (10)$$

A significância  $Q_j$  de um projeto indica o grau de satisfação das demandas e objetivos perseguidos pelas partes interessadas. Quanto maior for  $Q_j$ , maior será a eficiência do projeto. Neste caso, a significância  $Q_{max}$  do projeto mais racional será sempre a mais alta. A significância dos projetos restantes é menor em comparação com o mais racional. Isso significa que todas as demandas e objetivos das partes interessadas serão atendidos em menor extensão do que seria o caso com o melhor projeto. O grau de utilidade é calculado comparando o projeto analisado com o projeto mais eficiente. Neste caso, todos os valores de utilidade relacionados ao projeto analisado variarão de 0 a 100% [45]. Isso torna mais fácil avaliar visualmente a eficiência dos projetos, a Eq. (11) é usada para calcular o grau de utilidade  $N_j$  definido por:

$$N_j = \frac{Q_j}{Q_{max}} \cdot 100\% \quad (11)$$

Na sequência, será apresentado o estudo de caso desenvolvido sobre os riscos de disruptão em uma Cadeia de Suprimentos categorizada como eficiente com a aplicação do método híbrido AHP-COPRAS proposto.

## DESENVOLVIMENTO DE PESQUISA

À empresa envolvida nesta pesquisa é uma fabricante de autopeças multinacional, que têm plantas industriais no Brasil localizadas em diferentes regiões. A sua principal dimensão competitiva é o prazo de entrega realizado de forma ágil e eficiente, muito em função do acordo de nível de serviço assinado com os seus principais clientes.

Em função dos atributos definidos, esta empresa trabalha muito mais próxima do modelo de cadeias eficientes e os dados gerados para avaliação dos riscos de interrupção no fornecimento foram definidos por uma equipe gestora responsável pelas áreas de suprimentos, planejamento de produção, logística e pela equipe de manufatura.

Esta equipe gestora identificou quatro principais riscos que podem afetar o funcionamento da Cadeia de Suprimentos e deseja investir em estratégias para sua mitigação. Os riscos identificados são definidos por:

- R1 – atraso na entrega do fornecedor
- R2 – Interrupção por eventos econômicos externos
- R3 – Falhas nos sistemas de TI (Tecnologia da Informação)
- R4 – Greves de transporte.

Os critérios para avaliação foram definidos por:

C1 - probabilidade de acontecer a interrupção;

C2 – Impacto financeira – prejuízo estimado em caso de ocorrência;

C3 – Tempo de recuperação – Tempo necessário para retomar à operação de modo normal apos o evento;

C4 – Abrangência – quantos elos da Cadeia de Suprimentos podem ser afetados.

Em função da experiência do uso da metodologia AHP, a equipe gestora classificou com base nos níveis de desempenho indicados na Tabela 3, para avaliar as alternativas em relação aos critérios apresenta-se a Tabela 4.

Tabela 4: Avaliação dos riscos em função dos respectivos critérios

Riscos	C1	C2	C3	C4
R1	Alto	Médio	Regular	Baixo
R2	Médio	Muito Alto	Muito Alto	Alto
R3	Baixo	Alto	Alto	Médio
R4	Muito Alto	Baixo	Baixo	Muito Baixo

Observa-se que os riscos por interrupções por eventos economicos externos é uma grande preocupação para os especialistas por causar impactos financeiros de grande monta, podendo inclusive ser gerado em função de greve de determinados modais. A dependência da Tecnologia da Informação em função de falhas também é destacado em termos de impactos financeiros bem como no tempo de recuperação para retomar as operações.

Os especialistas também forneceram, por consenso, comparações entre os critérios, definindo as respectivas prioridades. A matriz de comparação pode ser aceita, pois resultou em  $CR \approx 0,091$  conforme informado na Tabela 5.

Tabela 5: Matriz de comparação para cálculo das prioridades

Critérios	C1	C2	C3	C4	Autovetor	Prioridade (%)
C1	1	1	3	3	1,732	37,4%
C2	1	1	3	3	1,732	37,4%
C3	1/3	1/3	1	2	0,687	14,8%
C4	1/3	1/3	1/2	1	0,485	10,5%

Os valores avaliados para as alternativas apresentadas foram associados aos valores de desempenho da Tabela 3 e ponderados pelos pesos dos critérios (ou prioridades) apresentados nas Tabelas 5, respectivamente, resultando na Tabela 6.

Tabela 6: Cálculo dos pesos pelo método AHP

<b>Riscos</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>Peso</b>
<b>R1</b>	0,375	0,375	0,400	0,333	0,371
<b>R2</b>	0,375	0,375	0,400	0,333	0,371
<b>R3</b>	0,125	0,125	0,133	0,222	0,151
<b>R4</b>	0,125	0,125	0,067	0,111	0,107

O cálculo dos pesos obtidos pela aplicação do método AHP, conforme demonstrado na Tabela 6, será utilizado para o cálculo pelo método COPRAS oportunamente apresentado no Capítulo Resultados e Discussão.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção está dividida em duas subseções. A Seção 4.1 apresenta os resultados da aplicação do método híbrido AHP-COPRAS e a Seção 4.2 apresenta as implicações gerenciais.

### Resultados

Ao analisar os critérios definidos, e como todos estão relacionados a custo, entende-se que objetivo é minimizar essa condição. Portanto quanto menor o valor, melhor será a opção a ser escolhida. Nesse sentido, com base na matriz de desempenho definida pelo AHP, normalizando e ponderando os valores referentes aos principais riscos e utilizando como base a metodologia COPRAS, calculou-se a matriz demonstrada na Tabela 7.

Tabela 7: Definição dos principais riscos de disruptão pelo método COPRAS.

Riscos	C1	C2	C3	C4	S <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	N
<b>R1</b>	0,106	0,079	0,032	0,021	0,238	0,238	77%
<b>R2</b>	0,079	0,132	0,054	0,043	0,308	0,308	<b>100%</b>
<b>R3</b>	0,053	0,106	0,043	0,032	0,234	0,234	76%
<b>R4</b>	0,132	0,053	0,022	0,011	0,218	0,218	71%

Com base dos resultados da Tabela 7, conclui-se que os possíveis eventos em função de crises econômicas (R1) é o mais crítico, pois tem altos valores em todos os critérios, enquanto o menor risco de interrupção nas Cadeias de Suprimentos destaca-se a greve nos transportes (R4), mesmo com alta probabilidade de acontecer (71%), seu impacto é menor.

## Implicações para Gestores da Cadeia de Suprimentos

As implicações gerenciais que podem ser extraídas deste estudo de caso são que, diante dos efeitos da pandemia e da atual turbulência econômica, os gestores da Cadeia de Suprimentos devem:

- Ao buscar eficiência na Cadeia de Suprimentos (CS), concentrar-se na variação da demanda, nas questões materiais e no comportamento do consumidor. Em outras palavras, concentrar-se na gestão da capacidade industrial, no planejamento da demanda e em modelos de previsão de vendas mais assertivos.
- Ao buscar capacidade de resposta na CS, concentrar-se nas operações para aumentar ou manter os indicadores de eficiência e produtividade para seus principais parceiros comerciais.

Nunca é demais enfatizar que esses resultados vieram de um estudo de caso, especificamente de uma indústria do segmento de auto peças. No entanto, esta proposta de estudo de caso pode servir como referência para estudos semelhantes, incluindo o uso de outros métodos de MADM para comparar os resultados obtidos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste artigo foi apresentar um modelo de análise multicritério para avaliar o risco de rupturas na Cadeia de Suprimentos e em função do atual momento de turbulência na economia global. A aplicação do método MADM foi realizada por meio de um caso da indústria automotiva, que opera sua cadeia de forma eficiente.

O método de análise multicritério foi um híbrido do AHP e do COPRAS. O conjunto de critérios e o conjunto de alternativas foram obtidos pelos especialistas da empresa bem como os dados para as aplicações do AHP e, consequentemente, para o COPRAS. Utilizando o AHP, os respectivos pesos foram calculados e foi possível identificar que os riscos em função de crises econômicas é considerada a principal causa dos riscos de ruptura.

Como esses resultados são provenientes da indústria de autopeças a primeira proposta para pesquisas futuras é a aplicação do modelo em outros segmentos da indústria ou de serviços. Outra possibilidade para pesquisas futuras é à aplicação de diferentes métodos multicritério, como por exemplo o ANP, que talvez permita analisar a dependência ou influência entre as alternativas e os critérios, ou, com a Teoria Fuzzy, onde será possível incorporar elementos de incerteza na análise que envolve as cadeias de suprimentos.

## REFERÊNCIAS

1. Xu, D. Research on supply chain management strategy of Longtang Eletric Engineering Co. Ltda. *Acta Electronica Malaysia* **2019**, 3, 10-13.
2. Kalaitzi, D. et al. Megatrends and trends shaping supply chain innovation. In Fornasiero, R. Next generations supply chains. *Springer* **2021**, 3-34.
3. Karmaker, C. et al. Improving supply chain sustainability in the context of COVID-19 pandemic in an emerging economy: Exploring drivers using an integrated model. *Sustainable Production and Consumption* **2021**, 26, 411-427.
4. Chopra, S. *Supply Chain Management*, 7th ed.; New Jersey: Pearson, USA, 2019.
5. Holweg, M. An investigation into supplier responsiveness: Empirical evidence from the automotive industry. *International Journal of Logistic Management* **2005**, 16, 96-119.
6. Anparasan, A.A.; Lejeune, M.A. Data laboratory for supply chain response models during epidemic outbreaks. *Annals of Operations Research* **2018**, 270, 1-12.
7. Ishizaka, A.; Nemery, P. *Multi-criteria decision analysis*. 1st ed.; John Wiley&Sons, USA, 2013.
8. Boström, M. et al. Sustainable and responsible supply chain governance: challenges and opportunities. *Journal of Cleaner Production* **2015**, 107, 1-7.
9. Fisher, M.L. What is the right supply chain for your product? *Harvard Business Review* **1997**, 105-117.

10. Zidi, S.; Hamani, N.; Kermad, L. New metrics for measuring supply chain reconfigurability. *Journal of Intelligent Manufacturing* **2021**, 33, 2371-2391.
11. Yu, K.D.S.; Aviso, K.B. Modelling the economic impact and ripple effects of disease outbreaks. *Process Integration and Optimization for Sustainability* **2020**, 4, 183-186.
12. Antony, J. et al. Practical implications and future research agenda of lean manufacturing: A systematic literature review. *Production, Planning & Control* **2020**, 32, 1-37.
13. Jabbour, A.B.L.S. at al. Sustainability implications for operations management: Building the bridge through exemplar case studies. *Production, Planning & Control* **2020**, 31, 11-12.
14. Sodhi, M.S.; Tang, C.S.; Willenson, E.T. Research opportunities in preparing supply chains of essential goods for future pandemics. *International Journal of Production Research* **2021**, 61, 2416-2431.
15. Mokhtarzadeh, N.G. et al. A product technology portfolio alignment approach for food industry: A multi-criteria decision making with z-numbers. *British Food Journal* **2020a**, 122, 3947-3967.
16. Mokhtarzadeh, N.G. et al. Investigating the impact of networking capability on firm innovation performance: Using the resource action performance framework. *Journal of Intellectual Capital* **2020b**, 21, 1009-1034.
17. Jabbarzadeh, A. et al. Resilient and sustainability supply chain design: Sustainability analysis under disruption risks. *International Journal of Production Research* **2018**, 56, 5945-5968.
18. Göçer, F. A novel interval value extension of picture fuzzy sets into groups decision making: An approach to support supply chain sustainability in catastrophic disruptions. *IEEE* **2021**, 99.
19. Belhadi, A. et al. Building supply chain resilience: an artificial intelligence-based technique and decision-making framework. *International Journal of Production Research* **2022**, 60, 4487-4507.
20. Birkel, H.; Hartmann, E. Impact of IoT challenges and risks for SCM. *Supply Chain Management* **2019**, 24, 39-61.
21. Calatayud, A. et al. The self-thinking supply chain. *Supply Chain Management* **2019**, 24, 22-38.

22. Ivanov, D. Predicting the impacts of epidemic outbreaks on global supply chains: A simulation-based analysis on the coronavirus outbreak case. *Transportation Research Part* **2020**, 136, 101922.
23. Velayutham, A. et al. Pandemic turned into pandemonium: The effect on supply chains and the role of accounting information. *Accounting, Auditing & Accountability Journal* **2021**, 34, 1404-1405.
24. Bakos, L.; Dumitrascu, D.D. Decentralized enterprise risk management issues under rapidly changing environments. *Risks* **2021**, 9, 165.
25. Bocanet, A. et al. Business analysis in post-pandemic era. *Academy of Strategic Management Journal* **2021**, 20, 1-9.
26. Alkahtani, M. et al. Covid-19 supply chain management strategy based on variable production under certain environment conditions. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **2021**, 18, 1662.
27. Di Francesco, R.M. et al. Buyback and risk sharing contracts to mitigate the supply and demand disruption risks. *European Journal of Industrial Engineering* **2020**, 15, 550-581.
28. Li, J. et al. Supply chain finance review: Current situation and future trend. *System Engineering Theory and Practice* **2020**, 8, 1977-1995.
29. Ahlqvist, V. et al. Supply chain risk governance: Towards a conceptual multi-level framework. *Operations and Supply Chain Management* **2020**, 13, 382-395.
30. Saaty, T.L. Decision making with Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Services Sciences* **2008**, 1, 83-86.
31. Emrouznejad, A.; Marra, M. The state-of-the-art development of AHP (1979-2017): A literature review with a social network analysis. *International Journal of Production Research* **2017**, 55, 6653-6675.
32. Gass, S.I. The Analytic Hierarchy Process: An exposition. *Operations Research* **2001**, 49, 469-486.
33. Saaty, T.L.; Rogers, P.C. Higher education in the United States (1985-2000): Scenario construction using a hierarchical framework with eigenvector weighting. *Socio-Economic Planning Sciences* **1976**, 10, 251-263.
34. Salomon, V.A.P. et al. Tomada de decisões múltiplas aplicada à seleção de fornecedores de equipamentos de uma linha de montagem em uma fábrica de autopeças. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento* **2009**, 1, 208-217.

35. Saaty, T.L.; Peniwati, K. Group Decision Making: Drawing out and reconciling differences. 1<sup>st</sup> ed. Pittsburgh, RWS USA 2019.
36. Saaty, T.L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology* **1977**, 15, 234-281.
37. Tramarico, C.L. et al. Analytic Hierarchy Process and supply chain management: A bibliometric study. *ScienceDirect* **2015**, 55, 441-450.
38. Saaty, T.L. The analytic hierarchy process. New York: Mc Graw-Hill, USA, 1980.
39. Martino Neto, J.; Salomon, V.A.P. Multi-criteria Analysis of Disruption Risks for Supply Chain due to Pandemics. In: Qudrat-Ullah, H. (eds). Understanding the Dynamics of New Normal for Supply Chain, 2022, 121-137.
40. Zavadskas, E.K. et al. The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects. *Technological and Economic Development of Economy* **1994**, 1, 131-139.
41. Gadakh, V.S. Application of complex proportional assessment method for vendor selection. *International Journal of Logistic Research and Applications* **2014**, 17, 23-24.
42. Schramm, V.B. et al. Approaches for supporting sustainable supplier selection: A literature review. *Journal of Cleaner Production* **2020**, 6, 123089.
43. Patel, A. et al. Comparative study of MCDM techniques COPRAS and TOPSIS for selection of electric motorcycles. IEEE 7<sup>th</sup> International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA) April 2020.
44. Zavadskas, E.K. et al. State of arts surveys of overviews on MCDM/MADM methods. *Technological and Economic Development of Economy* **2014**, 20, 165-179.
45. Zavadskas, E.K. et al. Multi-attribute assessment of road design solutions by using the COPRAS method. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* **2007**, 2, 195-203.
46. Salomon, V.A.P. et al. Analytic Hierarchy Process applied to supply chain management. In: De Felice, F.; Saaty, T.L.; Perillo, A. editors. Applications and theory of analytic hierarchy process – Decision making for strategic Decision. IntechOpen, 2016.