

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

DANIEL LUCAS PEREIRA DE ASSIS PACHECO

APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP NA SELEÇÃO DE FORNECEDORES DE UMA
TORREFAÇÃO DE CAFÉ

ITUIUTABA

2020

DANIEL LUCAS PEREIRA DE ASSIS PACHECO

APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP NA SELEÇÃO DE FORNECEDORES DE UMA
TORREFAÇÃO DE CAFÉ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção, da Faculdade de Administração, Ciências Contábeis, Engenharia de Produção e Serviço Social da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção. Orientador: Prof. Dr. Ricardo Batista Penteado.

ITUIUTABA

2020

DANIEL LUCAS PEREIRA DE ASSIS PACHECO

APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP NA SELEÇÃO DE FORNECEDORES DE UMA
TORREFAÇÃO DE CAFÉ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Engenharia de Produção, da
Faculdade de Administração, Ciências
Contábeis, Engenharia de Produção e Serviço
Social da Universidade Federal de Uberlândia,
como requisito parcial para a obtenção do
título de Bacharel em Engenharia de Produção,
pela banca examinadora formada por:

Ituiutaba, 14 de dezembro de 2020.

Prof. Dr. Ricardo Batista Penteado,
Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Dr. Lucio Abimael Medrano Castillo,
Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Luís Fernando Magnanini de Almeida,
Universidade Federal de Uberlândia

*Dedico este trabalho aos meus pais, pelo estímulo e cuidado,
E à Thalita, pela compreensão e carinho.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, fonte de amor e apoio incondicional.

Agradeço em especial aos meus avós maternos, José Pereira Neto e Serene Maria Pereira, por inculcar em mim desde a mais tenra idade a importância da educação.

Agradeço à Thalita, companheira fiel nos estudos e na vida.

Agradeço ao meu orientador, Dr. Ricardo Batista Penteado, por me apontar o bom caminho.

Agradeço aos professores que durante todos esses anos de graduação tanto contribuíram para o meu desenvolvimento.

Agradeço, enfim, à universidade pública, gratuita e de qualidade, patrimônio do nosso povo brasileiro.

“Não tenhamos pressa, mas não percamos tempo”.

José Saramago

RESUMO

Empresas buscam parceiros confiáveis e que ofereçam serviços de alta qualidade, incluindo fornecedores. O processo de escolha destes, ao envolver várias partes interessadas com objetivos diferentes, exige que diversos tipos de critérios relevantes sejam considerados. A análise de decisão multicritério é um campo da pesquisa operacional em que alternativas de decisão são analisadas em relação a um conjunto de múltiplos critérios. O método AHP é uma ferramenta deste campo para lidar com decisões complexas que envolvem elementos tangíveis e intangíveis, ao estruturar um processo de decisão complexo em termos de critérios hierárquicos de decisão e de suas prioridades associadas. Este trabalho busca aplicar o método AHP na seleção de novo fornecedor em uma fábrica de torrefação de café. Para atingir este objetivo realizou-se uma pesquisa de natureza aplicada, exploratória e descritiva através de pesquisa bibliográfica e um estudo de caso, coletando e analisando os dados sob a perspectiva do método utilizado. O objetivo foi alcançado ao introduzir um método formal ao processo decisório.

Palavras-chave: Pesquisa operacional; Análise multicritério; AHP.

ABSTRACT

Companies are on the lookout for reliable partners that offer high quality services, including suppliers. The decision-making process when choosing these involves several stakeholders with different objectives, which requires that different types of relevant criteria be considered. Multiple-criteria decision analysis/making (MCDM) is a field of operational research in which alternatives are analyzed against a set of multiple criteria. The AHP is a MCDM method which deals with complex decisions involving tangible and intangible elements, by structuring a complex decision process in terms of hierarchical decision criteria and their associated priorities. This paper aims to use the AHP method in the selection of a new supplier in a coffee roasting plant. To achieve this objective, an applied, exploratory and descriptive research was carried out, through bibliographic research and a case study, collecting and analyzing the data from the perspective of the AHP method. The objective was achieved by introducing a formal method to the decision-making process.

Keywords: Operational research; Multiple-criteria decision analysis; AHP.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Métodos MCDM classificados conforme abordagem	17
Figura 2 - Estrutura Hierárquica Genérica.....	21
Figura 3 – Aplicação do método AHP	27
Figura 4 - Produção regional de café.....	28
Figura 5 - Evolução do consumo interno de café no Brasil (1990-2018).....	29
Figura 6 – Etapas da pesquisa.....	33
Figura 7 – Processo produtivo.....	35
Figura 8 – Estrutura hierárquica	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise comparativa entre métodos AHP, <i>fuzzy</i> AHP e <i>fuzzy</i> TOPSIS	18
Tabela 2 – Escala fundamental para comparação entre alternativas.....	20
Tabela 3 – Índice aleatório de consistência (R.I.).....	25
Tabela 4 – Valores do GCI associados ao C.R.	26
Tabela 5 - Produção Total dos 10 maiores exportadores de café em 2019/20.....	29
Tabela 6 – Tipos de café utilizados no <i>blend</i>	36
Tabela 7 – Critérios identificados	37
Tabela 8 – Critérios quantitativos	38
Tabela 9 – Julgamento entre critérios.....	39
Tabela 10 – Importância dos critérios	40
Tabela 11 – Vetores de prioridades.....	41
Tabela 12 – Julgamento entre alternativas em relação ao sabor.....	41
Tabela 13 – Vetor de prioridades – sabor	42
Tabela 14 – Matriz de decisão.....	43
Tabela 15 – Desempenho dos critérios e prioridades	43
Tabela 16 – Alternativas ordenadas pela prioridade global	45

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABIC	<i>Associação Brasileira da Indústria de Café</i>
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
C.I.	<i>Consistency Index</i>
CONAB	<i>Companhia Nacional de Abastecimento</i>
C. R.	<i>Consistency Ratio</i>
ELECTRE	<i>Elimination et Choix Traduisant la Réalité</i>
EM	<i>Eigenvalue Method</i>
GCI	<i>Geometric Consistency Index</i>
ICO	<i>International Coffee Organization</i>
IPEA	<i>Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada</i>
MADM	<i>Multiple Attribute Decision Making</i>
MACBETH	<i>Measuring Attractiveness by a Categorical-Based Evaluation Technique</i>
MAUT	<i>Multi-Attribute Utility Theory</i>
MCDA	<i>Multiple Criteria Decision Analysis</i>
MCDM	<i>Multiple Criteria Decision Making</i>
MODM	<i>Multiple Objective Decision Making</i>
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations</i>
RGMM	<i>Row Geometric Mean Method</i>
R.I.	<i>Random Consistency Index</i>
SMART	<i>Simple Multi Attribute Rating Technique</i>
TOPSIS	<i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
UTA	<i>Utilité Additive</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1	ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO (MCDM)	15
2.2	<i>ANALYTIC HIERARCHY PROCESS</i>	18
2.2.1	<i>Estrutura hierárquica do AHP</i>	20
2.2.2	<i>Métodos de priorização</i>	22
2.2.3	<i>Índice de consistência</i>	24
2.2.4	<i>Comparação paritária das alternativas</i>	26
2.3	INDÚSTRIA DE CAFÉ	27
3	METODOLOGIA.....	31
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	31
3.2	TÉCNICAS DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS.....	32
3.3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1	ESTUDO DE CASO	34
4.1.1	<i>Mapeamento da realidade empresarial</i>	34
4.2	APLICAÇÃO DO MÉTODO	36
4.2.1	<i>Selecionar objetivo geral</i>	37
4.2.2	<i>Identificar critérios relevantes</i>	37
4.2.3	<i>Identificar alternativas</i>	37
4.2.4	<i>Desenvolver matriz de comparação paritária entre os critérios</i>	39
4.2.5	<i>Calcular vetor de prioridades normalizado dos critérios</i>	39
4.2.6	<i>Calcular consistência do julgamento paritário dos critérios</i>	40
4.2.7	<i>Calcular vetor de prioridades locais normalizado em relação a cada critério</i>	40
4.2.8	<i>Calcular prioridade global das alternativas</i>	42
4.3	DISCUSSÃO.....	43
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
5.1	LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS	45
6	REFERÊNCIAS	47

1 Introdução

1.1 Contextualização e justificativa

Corporações buscam fornecedores adequados e que ofereçam serviços de alta qualidade. A seleção de fornecedores requer consideráveis recursos financeiros e humanos. Através deste processo, muito além da contratação, empresas se empenham na identificação, filtração, avaliação e análise de potenciais fornecedores. Por extensão, a seleção de fornecedores tem sido amplamente estudada no contexto de gerenciamento de operações, ciências da decisão e economia da produção (CHAI; NGAI, 2019).

Portanto, tomar uma decisão torna-se inevitável e a existência de múltiplos interesses a serem considerados torna a tarefa muitas vezes árdua. O processo decisório, ao envolver vários *stakeholders* com objetivos diferentes, estabelece a necessidade de conciliar diversos tipos de informações como as consequências de cada decisão possível, os pontos de vista e as preferências das partes interessadas nas decisões e os indicadores a serem considerados como critérios (THOMOPOULOS, 2018). Realizar julgamentos em ambientes de alto risco, confusos e incertos torna as decisões mais vulneráveis à distorção. Nesse cenário, a adoção de métodos científicos mais complexos de tomada de decisão pode ser de grande auxílio (HADDAD; SANDERS, 2018).

A análise de decisão multicritério, termo advindo do inglês *Multiple-Criteria Decision Analysis/Making* (MCDA/MCDM), é um campo da pesquisa operacional em que alternativas de decisão são analisadas em relação a um conjunto de múltiplos critérios, sendo estes frequentemente conflitantes (ISHIZAKA; SIRAJ, 2018). Para Roy e Słowiński (2013) tais métodos devem ser vistos como uma ferramenta de aprofundamento do problema de decisão, capaz de explorar várias possibilidades, além de interpretá-las, debatê-las e discuti-las, e não como uma ferramenta capaz de por si só tomar a decisão. Ao definir o problema de decisão, o analista, ou seja, o responsável pela implementação do método, deve consultar amplamente os tomadores de decisão, especialistas e os *stakeholders*, além de revisar as decisões tomadas previamente (THOKALA et al, 2016).

O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) é uma ferramenta de análise de decisão multicritério originalmente proposta por Saaty (1980). O AHP estabelece uma hierarquia para a discriminação da decisão. No primeiro nível, estabelece-se o objetivo. Nos níveis intermediários, estão localizados os critérios escolhidos para a tomada de decisões, sendo

estes, caso necessário, agrupados em *clusters*. No último nível, as alternativas de decisão são disponibilizadas (LIMA et al, 2019).

Em estudos sucessivos, Chai et al. (2013) e (2019) apresentam os métodos AHP e ANP (extensão do método AHP) como técnicas dominantes de tomada de decisão na seleção de fornecedores, apesar de um declínio percentual na sua utilização ao decorrer dos anos. Porém, tais métodos AHP e ANP tendem a ser tornar componentes na hibridização de processos de tomada de decisão ou partes de uma solução para um estágio de um processo de múltiplos estágios ao invés de uma abordagem relativamente independente de seleção de fornecedores (HASHEMI; KARIMI; TAVANA, 2015).

A seleção de fornecedores na indústria cafeeira brasileira se revela de especial relevância dada a importância do café no país. O Brasil é o maior produtor e exportador de café do mundo e o segundo maior consumidor de acordo com a Organização Internacional do Café (ICO). Entre o período de outubro de 2019 e setembro de 2020, 22 milhões de sacas de café de 60 kg foram consumidas em território brasileiro (ICO, 2020). Pesquisa realizada pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) em 2017 aponta que o Brasil, diferentemente de países como a Colômbia e o Vietnã, que se especializaram apenas na exportação do grão, possui uma cadeia agroindustrial do café completa, desde a produção primária, passando pela industrialização e chegando ao consumo interno (CONCEIÇÃO et al, 2017).

A existência de fatores qualitativos na escolha do fornecedor em uma fábrica de torrefação, a começar pelo sabor do café, justifica a utilização do método AHP uma vez que este oferece a possibilidade de utilizar tanto fatores qualitativos como quantitativos na estrutura hierárquica do processo de tomada de decisão (CHAN et al, 2019).

O propósito deste trabalho é aplicar o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) na seleção de novo fornecedor de um tipo específico de matéria-prima responsável majoritariamente pelo sabor da bebida em uma fábrica de torrefação de café destinada ao mercado interno, introduzindo um método formal no processo decisório, dantes baseado apenas na experiência dos tomadores de decisão. Os produtos impactados pela pesquisa são o café torrado e moído e o café torrado e moído a vácuo.

A estrutura do presente trabalho está dividida em introdução, onde é contextualizada e justificada a pesquisa, além de se estabelecer seu objetivo; em fundamentação teórica, seção em que se discorre sobre a literatura que sustenta a pesquisa; em metodologia, seção na qual a pesquisa é caracterizada quanto a sua natureza, quanto ao problema estudado, quanto aos seus objetivos e quanto aos procedimentos metodológicos, além de apresentar as técnicas de coleta

e análise de dados; em resultados e discussão, na qual o estudo de caso e a problemática empresarial são apresentados e a aplicação do método proposto é realizada e discutida; em considerações finais, onde são expostas as conclusões da pesquisa, suas limitações e propostas de trabalho futuros; e finalmente em referências, onde se encontra o referencial bibliográfico utilizado ao longo da pesquisa.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Análise de decisão multicritério (MCDM)

O economista Vilfredo Pareto (1848–1923) foi provavelmente o primeiro pesquisador cujo trabalho poderia ser formalmente classificado como MCDM. Pareto foi pioneiro ao estudar matematicamente a agregação de critérios conflitantes em um único índice composto (KÖKSALAN; WALLENIUS; ZIONTS, 2013). Já o termo MCDM foi utilizado pela primeira vez por Zeleny em 1975 (ZELENY, 1975).

A partir da década de 1950, um grande número de métodos refinados de MCDM foi desenvolvido, diferindo entre si na qualidade e quantidade necessárias de informações adicionais, na metodologia utilizada, na facilidade de uso, nas ferramentas de sensibilidade utilizadas e nas propriedades matemáticas que eles verificam (ZAVADSKAS; TURSKIS; 2011).

A análise de decisão multicritério (MCDM) constitui um campo avançado de pesquisa operacional dedicado ao desenvolvimento e implementação de ferramentas e metodologias de apoio à decisão para enfrentar problemas complexos de decisão envolvendo múltiplos critérios, metas ou objetivos de natureza conflitante (KAHRAMAN; ONAR; OZTAYSI; 2015).

Belton e Stewart (2002) determinam que o termo análise de decisão multicritério abranja uma gama de abordagens formais cujo objetivo é auxiliar indivíduos ou grupos de indivíduos a explorar decisões de elevado grau de importância, isto é, decisões que provocarão consequências substanciais, gerando impactos de longo prazo e afetando muitas pessoas e cujos erros podem não ser facilmente remediados. De forma geral, os autores definem a análise de decisão multicritério como um auxílio à tomada de decisão que busca integrar a medição objetiva com o julgamento de valor e tornar explícita e gerenciar a subjetividade inerente ao processo decisório.

Bernard Roy (1996), ao estruturar o processo decisório, identifica quatro diferentes problemáticas, ou seja, amplas categorias de problemas para as quais se pode utilizar as técnicas de MCDM:

- problemática de escolha: seleção simples de uma opção de um conjunto de alternativas;

- problemática de triagem: classificar ações em classes ou categorias, como "certamente boas", "certamente verdadeiras", "provavelmente satisfatórias", "definitivamente ruins", "definitivamente falsas";
- problemática de classificação: classificar ações a partir de uma ordem de preferência;
- problemática de descrição: descrever ações e suas consequências de maneira sistemática, para que os tomadores de decisão possam avaliá-las.

Beton e Stewart (2002) ainda acrescentam duas problemáticas pertinentes:

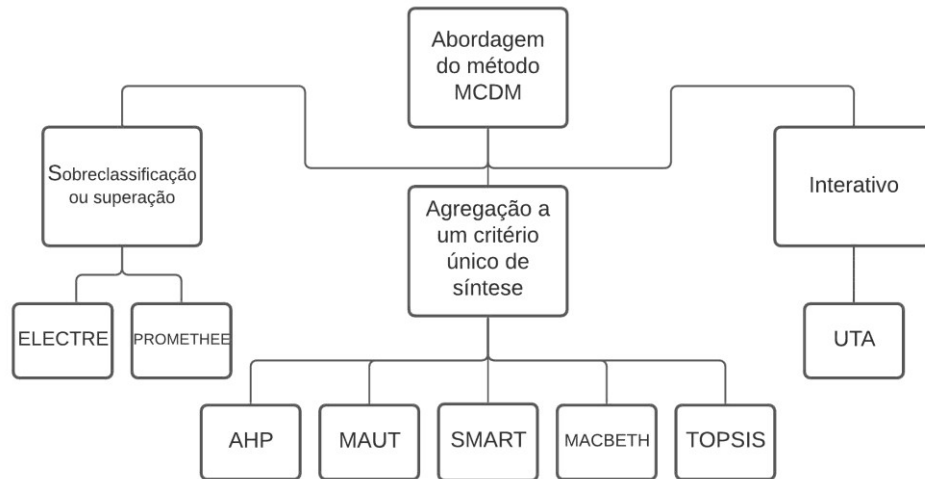
- problemática de *design*: Buscar, identificar ou criar novas alternativas de decisão para atender às metas e aspirações reveladas pelo processo MCDM e;
- problemática de portfólio: Escolher um subconjunto de alternativas a partir de um conjunto maior de possibilidades, levando em conta não apenas as características das alternativas individuais, mas também a maneira como elas interagem.

Os métodos MCDM podem ser classificados em duas categorias, sendo estes *Multiple Attribute Decision Making* (MADM), ou processo decisório multiatributo, que lidam com problemas discretos, e métodos *Multiple Objective Decision Making* (MODM), ou processo decisório multiobjetivo, os quais lidam com problemas de natureza contínua (ZAVADSKAS; TURSKIS, 2011). Além do mais, os métodos MCDM podem ser classificados de maneira geral em três abordagens diferentes (ISHIZAKA; SIRAJ, 2018), (ROY, 2005), (VINCKE, 1992):

- abordagem de agregação a um critério único de síntese: As pontuações ou *score* para todos os critérios são agregadas em um único *score* geral. Usando esse método, um *score* ruim para um critério pode ser compensado por um bom *score* para outro critério. Alguns métodos aderentes dessa abordagem são o AHP, o MAUT, o SMART, o MACBETH e o TOPSIS;
- abordagem de sobreclassificação ou superação: Esses métodos também são chamados de métodos *outranking*. Estes Permitem representar a indiferença, a preferência estrita, e incomparabilidade entre as alternativas. Os métodos mais utilizados são os métodos ELECTRE e os métodos PROMETHEE e;
- métodos interativos: Cada método MCDA requer certo número de parâmetros. Em vez de esses parâmetros serem fornecidos diretamente pelo tomador de decisão, eles são extraídos indireta e interativamente. Foram desenvolvidos através da otimização multiobjetivo, especialmente no campo da programação linear com funções multiobjetivos. O método UTA é um exemplo da abordagem interativa.

A figura 1 ilustra a classificação dos métodos de análise multicritério citados conforme a abordagem.

Figura 1 – Métodos MCDM classificados conforme abordagem



Fonte: Próprio autor

A aplicação de ferramentas de MCDM é ampla e em revisão da literatura publicada entre 2000 e 2014, Mardani et al. (2015) compilaram estudos nas áreas de energia, meio ambiente e sustentabilidade; gestão da cadeia de suprimentos; gestão da qualidade; SIG (sistema de informação geográfica); construção e gerenciamento de projetos; segurança gerenciamento de riscos; sistemas de manufatura, gerenciamento de tecnologia e informações; pesquisa operacional e computação flexível; gerenciamento estratégico; gerenciamento de produção e gerenciamento de turismo.

Alguns modelos MCDM foram associados à lógica *fuzzy* (ou difusa), proposta inicialmente por Zadeh (1965). Tal associação trata-se de uma tentativa de exprimir de maneira objetiva imprecisões inerentes ao juízo humano e de resolver incertezas nas informações disponíveis, quando se trata de um ambiente de tomada de decisão mal definido que envolve múltiplos critérios (CHU; LIN, 2009). A tabela 1 ilustra os resultados de uma análise comparativa entre a aplicação do método AHP, adotado no presente trabalho, e os métodos AHP e TOPSIS atrelados à lógica *fuzzy* em um problema de seleção de fornecedores.

Tabela 1 – Análise comparativa entre métodos AHP, *fuzzy* AHP e *fuzzy* TOPSIS

Parâmetros	AHP	<i>Fuzzy</i> AHP	<i>Fuzzy</i> TOPSIS
Agilidade no processo decisório	-	-	Demonstrou melhor desempenho que AHP e <i>fuzzy</i> AHP
Complexidade computacional	Demonstrou melhor desempenho que <i>fuzzy</i> AHP e <i>fuzzy</i> AHP	Demonstrou melhor desempenho que <i>fuzzy</i> TOPSIS	-
Número de critérios e alternativas de fornecedores	-	-	Demonstrou melhor desempenho que AHP e <i>fuzzy</i> AHP

Fonte: adaptado de Alkahtani et al (2019).

Na análise comparativa da tabela 1 realizada por Alkahtani et al (2019), o método AHP demonstrou melhor desempenho geral na complexidade computacional, apesar do método *fuzzy* TOPSIS superá-lo em relação à agilidade no processo decisório e número de critérios e alternativas de fornecedores. Dado um problema de natureza prática e recorrente, como o proposto neste trabalho, o método AHP mostra-se mais adequado quanto à aplicação, devido a sua relativa praticidade no que se refere à execução e agilidade de implementação. Além disso, em consonância com Chan et al (2019), a adoção do método *fuzzy* AHP, apesar de ser um método mais sofisticado, não é favorável em relação ao método AHP clássico, uma vez que o primeiro é incapaz de introduzir diferença significativa dos pontos de vista quantitativo e qualitativo.

Em suma, Chai e Ngai (2015) atribuem à utilização de métodos MCDM o desenvolvimento do campo de seleção de fornecedores, foco do presente estudo, ao deixar de considerar de maneira simplista apenas fatores como qualidade do fornecedor e oferta de preços.

2.2 *Analytic Hierarchy Process*

O Processo Hierárquico Analítico ou *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é um método de análise multicritério (MCDM) proposto por Saaty (1980) para lidar com decisões complexas que envolvem elementos tanto tangíveis quanto intangíveis (DONG; ZHÜ; COOPER, 2017). O AHP estrutura um processo de decisão complexo em termos de critérios hierárquicos de decisão e suas prioridades associadas, balanceando as interações entre os critérios e sintetizando as informações em um vetor de preferências entre as alternativas (BARKER; ZABINSKY, 2011).

Em termos gerais, o *Analytic Hierarchy Process* é uma teoria de medição. Ele é usado para derivar escalas de razão de comparações pareadas tanto discretas quanto contínuas em estruturas hierárquicas de vários níveis. Tais comparações podem ser obtidas de medições reais ou de uma escala fundamental que reflita a força relativa de preferências e sentimentos (SAATY; VARGAS, 2012).

A escala fundamental permite efetuar comparações que indiquem quão mais importante ou dominante um elemento é sobre o outro em relação ao critério ou propriedade definido. A tabela 2 exibe a escala fundamental proposta por Saaty (1980).

Tabela 2 – Escala fundamental para comparação entre alternativas

Intensidade da Importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
2		
3		Experiência e julgamento favorecem ligeiramente uma atividade sobre a outra
4	Forte importância	
5		Experiência e julgamento favorecem fortemente uma atividade sobre a outra
6		
7	Muito forte importância	Uma atividade é favorecida muito fortemente sobre a outra; sua dominância demonstrada na prática
8		
9		As evidências que favorecem uma atividade em detrimento de outra é da mais alta ordem possível de afirmação

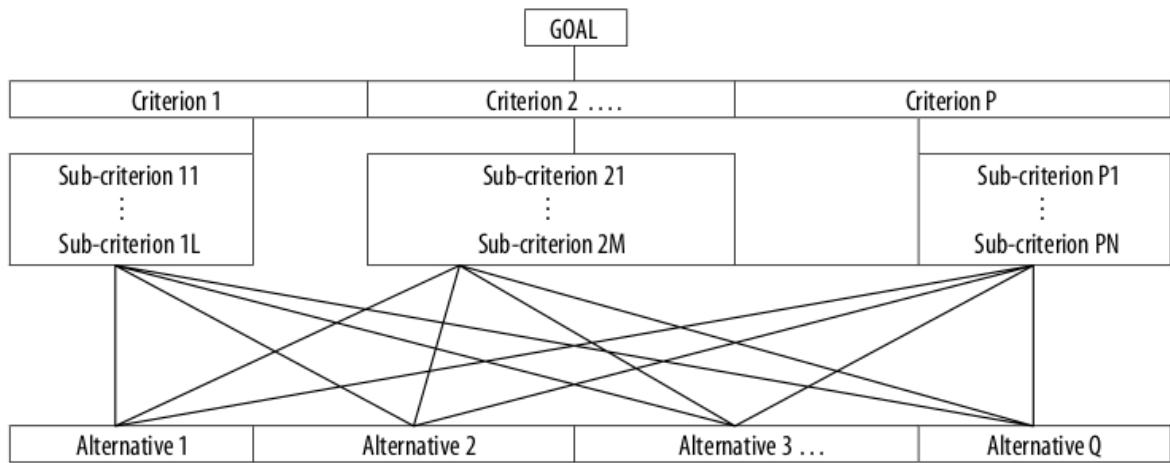
Fonte: adaptado de Saaty, Vargas (2012)

2.2.1 Estrutura hierárquica do AHP

Ao implementar o método AHP, primeiramente decompõe-se o problema em uma hierarquia de objetivos, critérios, subcritérios e alternativas, conforme ilustrado na figura 2. Segundo Saaty e Vargas (2012), decidir quais fatores incluir na estrutura hierárquica trata-se da tarefa mais criativa da tomada de decisão. Hierarquizá-los fornece uma visão geral das

complexas relações inerentes à situação e ao processo de julgamento e também permite ao tomador de decisão avaliar se está comparando questões da mesma ordem de magnitude.

Figura 2 - Estrutura Hierárquica Genérica



Fonte: Bhushan, Rai (2004)

Em seguida, os dados correspondentes à estrutura hierárquica do problema são coletados de especialistas e responsáveis pela tomada de decisão, através da comparação paritária de alternativas utilizando-se da escala fundamental conforme ilustrada na tabela 2. A comparação paritária reduz a complexidade conceitual do problema ao considerar dois componentes simultaneamente (THOMAS; REGHUNATH, 2020).

As comparações paritárias geradas são organizadas em uma matriz quadrática **A**. Os elementos da diagonal da matriz correspondem a 1. O critério na *i*-ésima linha é melhor que o critério na *j*-ésima coluna se o valor do elemento (*i*, *j*) for maior que 1; caso contrário, o critério na coluna *j* é melhor do que na linha *i*, sendo o elemento (*j*, *i*) da matriz o recíproco do elemento (*i*, *j*), i.e., se $a_{ij} = S$ representa a importância do critério *i* sobre o critério *j*, então $a_{ji} = 1 / S$.

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Uma vez estabelecida, deve-se obter o vetor de prioridades da matriz $\mathbf{A}$. Há um número infinito de maneiras de obter tal vetor (SAATY; VARGAS, 2012). O método de priorização consiste no processo de derivar um vetor de prioridades $w = (w_1, \dots, w_n)^T$ sendo $w_i \geq 0$ e $\sum_{i=1}^n w_i = 1$. Os dois métodos mais utilizados são o método do autovalor (EM de *eigenvalue method*) e o método da média geométrica (RGMM de *row geometric mean method*) (DONG; ZHANG et al; 2010).

2.2.2 Métodos de priorização

Enquanto Saaty (1980) propõe a utilização do método do autovalor, citando ênfase na consistência, autores como Barzilai (1997) defendem o uso do método da média geométrica, enumerando problemas na aplicação do método do autovalor como a indeterminação multifacetada de soluções, sua dependência de fenômenos de reversão de ranking (*rank reversal*), de transformações de escala e da ordem de operações. Já autores como Dong et al. (2008) e Herman e Koczkodaj (1996) demonstram que os efeitos desses dois métodos de priorização são muito similares. Em trabalho posterior, Dong et al. (2010) afirmam que o tempo de processamento do método do autovalor corresponde a $O(n^2)$ enquanto o tempo de processamento do método da média geométrica corresponde a $O(n)$. Assim sendo, o método da média geométrica possui um tempo de processamento menor que o método da média geométrica.

Brunelli (2015) ainda ressalta a atratividade do método da média geométrica quando se trata de aplicações práticas, uma vez que, em contraste com o método do autovalor, os pesos podem inclusive ser expressos como funções analíticas das entradas da matriz. Além disso, mesmo os pesos finais de toda a hierarquia podem ser expressos como expressões analíticas das entradas de todas as matrizes na hierarquia. Isso é de particular importância, pois possibilita a execução com eficiência de certos tipos de análises de sensibilidade.

2.2.2.1 Método do autovalor (EM)

O método do autovalor conforme proposto por Saaty (1980) consiste na obtenção do vetor de prioridades w por meio da solução do sistema dado pelas equações 2 e 3.

$$\mathbf{A}w = \lambda_{max}w \quad (2)$$

$$w^T \mathbf{1} = 1 \quad (3)$$

Sendo λ_{max} o autovalor máximo da matriz $\mathbf{A}$ e $\mathbf{1} = (1, \dots, 1)^T$.

O vetor w pode ser computado através de diversos algoritmos, sendo um deles baseado na seguinte relação (JABLONKSY, 2015):

$$cw = \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{\mathbf{A}^p \mathbf{e}}{\mathbf{e}^T \mathbf{A}^p \mathbf{e}} \quad (4)$$

Onde $\mathbf{e}^T = (1, 1, \dots, 1)$ e c é um escalar. Ainda segundo Jablonksy (2015), o cálculo do autovetor direito efetuado através da equação 4 não é complexo, mas demorado. Assim sendo, o uso de outros métodos de aproximação são amplamente utilizados conforme proposto pelo próprio Saaty (1990).

2.2.2.2 Método da média geométrica (RGMM)

Segundo o método da média geométrica (RGMM), conforme proposto por Crawford e Williams (1985), cada componente do vetor de prioridades w é obtido através da média geométrica dos elementos da respectiva linha da matriz $\mathbf{A}$ dividido por um fator de normalização, dessa forma garantindo que a soma de todos os componentes de w seja igual a 1. A equação 5 ilustra a obtenção do elemento w_i .

$$w_i = \frac{(\prod_{j=1}^n a_{ij})^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^n (\prod_{j=1}^n a_{ij})^{\frac{1}{n}}} \quad (5)$$

Sendo o fator de normalização representado pela equação 6.

$$\sum_{i=1}^n (\prod_{j=1}^n a_{ij})^{\frac{1}{n}} \quad (6)$$

Além do mais, o vetor w obtido através do método da média geométrica pode ser determinado de maneira equivalente conforme demonstrado por Crawford e Williams (1985), através de um problema de otimização englobando as equações 7 e 8. Sendo as variáveis de decisão $(w_1, \dots, w_n)$:

$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (\ln a_{ij} + \ln w_j - \ln w_i)^2 \quad (7)$$

Sujeito à seguinte restrição:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad w_i > 0 \quad \forall i \quad (8)$$

Tanto o método do autovalor quanto o método da média geométrica permitem estabelecer consistência dos julgamentos efetuados. Por conseguinte, o cálculo da inconsistência pode ser utilizado para melhorar a consistência dos julgamentos (SAATY, 2012). Entende-se por consistente a matriz cujos elementos a_{ij} possuem valores exatos $a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}$ e a condição de transitividade $a_{ij} = a_{ik}a_{kj} \quad \forall i, j, k = 1, 2, \dots, n$ é satisfeita (SRDJEVIC, 2005).

2.2.3 Índice de consistência

2.2.3.1 Razão de consistência C.R.

O índice de consistência de uma matriz de comparação utilizado no método do autovalor, denominado C.I. (*consistency index*), é dado pela equação 9:

$$\text{C. I.} = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} \quad (9)$$

Sendo C.I. também a variância do erro incorrido no processo de estimar a_{ij} . A matriz A é considerada consistente se $\lambda_{max} = n$ e inconsistente se $\lambda > n$. (SRDJEVIC, 2005).

A razão de consistência C.R. (*consistency ratio*) é determinada ao comparar-se C.I. ao R.I. (*random consistency index*) ou índice aleatório de consistência. Este se trata de um conjunto de números, representados na tabela 3, cada um correspondendo ao índice de consistência aleatória média derivado de uma amostra de matrizes recíprocas, todas elas geradas aleatoriamente utilizando a escala fundamental de Saaty (1980), a saber, $\frac{1}{9}$,

$\frac{1}{8}, \dots, 1, 8, 9$. Saaty (1980) ainda afirma que a ocorrência de um I.R. maior que 0.10, correspondendo a um limite de 10%, requer um novo estudo do problema e uma revisão dos julgamentos. Em trabalho posterior Saaty (1994) sugere um limite de 5% para matrizes de ordem $n = 3$, e de 8% para matrizes de ordem $n = 4$.

Tabela 3 – Índice aleatório de consistência (R.I.)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45

Fonte: adaptado de Saaty, Vargas (2012)

2.2.3.2 Índice de consistência geométrica GCI

O índice de consistência geométrica GCI (*geometric consistency index*) foi introduzido por Crawford e Williams (1985) e reexaminado por Aguarón e Moreno-Jiménez (2003). Estes últimos inclusive legaram a nomenclatura GCI ao índice, além de estabelecerem uma relação teórica entre o CR e GCI, testada através de uma análise de regressão. Assim sendo, o GCI é obtido através da equação 10:

$$GCI = \frac{2}{(n-1)(n-2)} \sum_{i < j} \log^2 e_{ij} \quad (10)$$

Sendo $e_{ij} = a_{ij} \frac{w_j}{w_i}$, $i, j = 1, \dots, n$, a quantificação local de inconsistência para cada entrada a_{ij} . Aguarón e Moreno-Jiménez (2003) propuseram limites associados ao GCI que permitem uma interpretação da tolerância do nível de inconsistência análoga àquela proposta por Saaty (1980) para o método do autovalor, ou seja, uma matriz consistente possui C.R. $\leq 0,1$. Tais limites sugeridos estão ilustrados na tabela 4.

Tabela 4 – Valores do GCI associados ao C.R.

Dimensão da matriz (n)	Valores Limite	
	GCI	C.R
$n = 3$	0,31	
$n = 4$	0,35	0,1
$n > 4$	0,37	

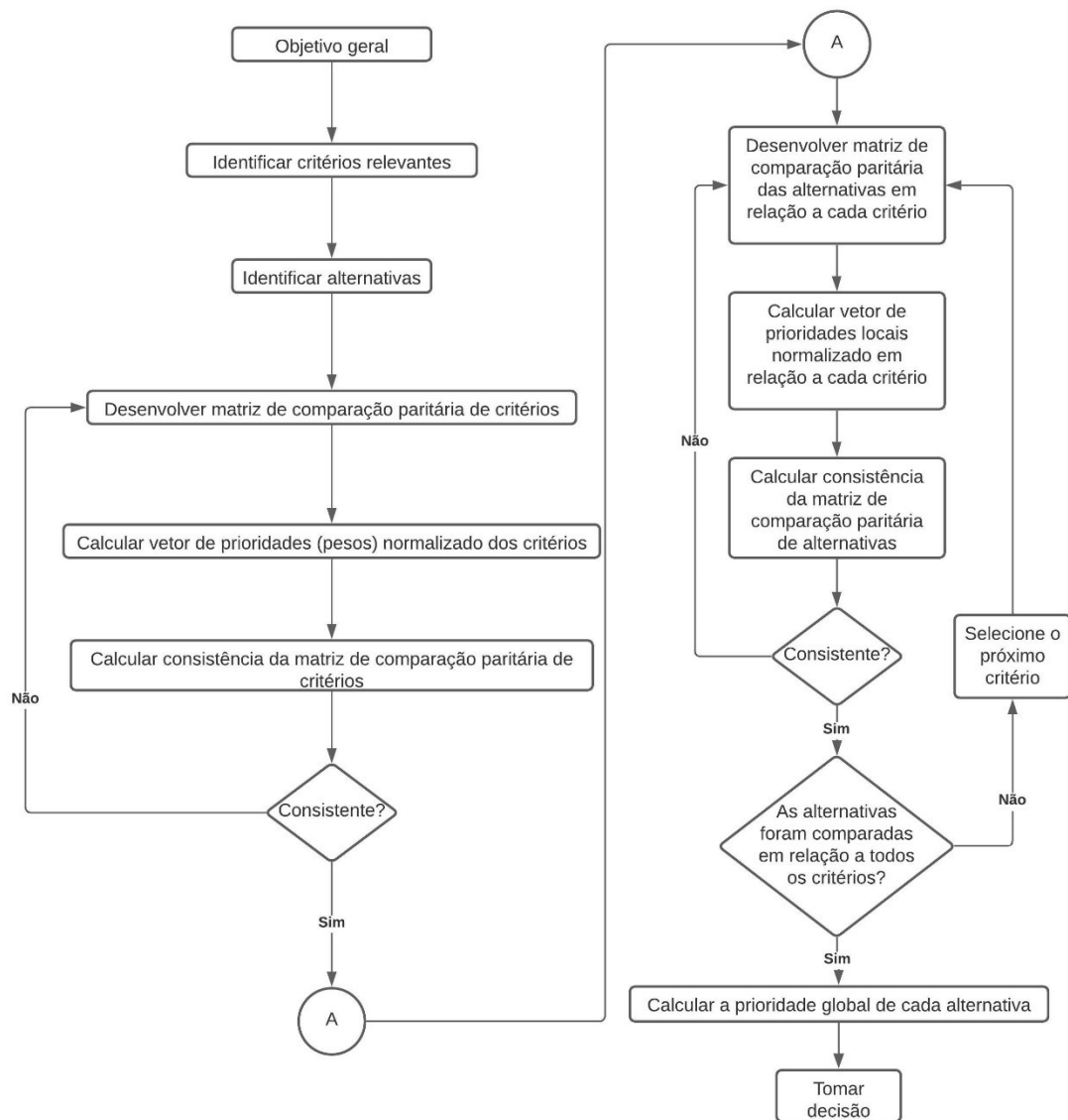
Fonte: Próprio autor

2.2.4 Comparação paritária das alternativas

Uma vez obtido o vetor de prioridades, deve-se derivar prioridades locais para as alternativas em relação a cada critério separadamente, seguindo um processo similar ao passo anterior, i.e., comparando as alternativas de maneira paritária em relação a cada critério, sendo a hierarquia do problema de terceira ordem, contendo assim três níveis, objetivo, critérios e alternativas. A síntese do modelo construído manifesta-se no estabelecimento da prioridade global das alternativas, combinando-as através de uma soma ponderada levando em conta o peso de cada critério, este representado pelo vetor de prioridades w . (MU; PEREYRA-ROJAS, 2018). A alternativa com a prioridade global mais alta constitui a melhor escolha. É por meio dela que deve ser pautada a tomada de decisão.

A figura 3 ilustra o processo de aplicação do método AHP por meio de um fluxograma.

Figura 3 – Aplicação do método AHP



Fonte: Adaptado de Yang, Ogunkah (2013)

2.3 Indústria de café

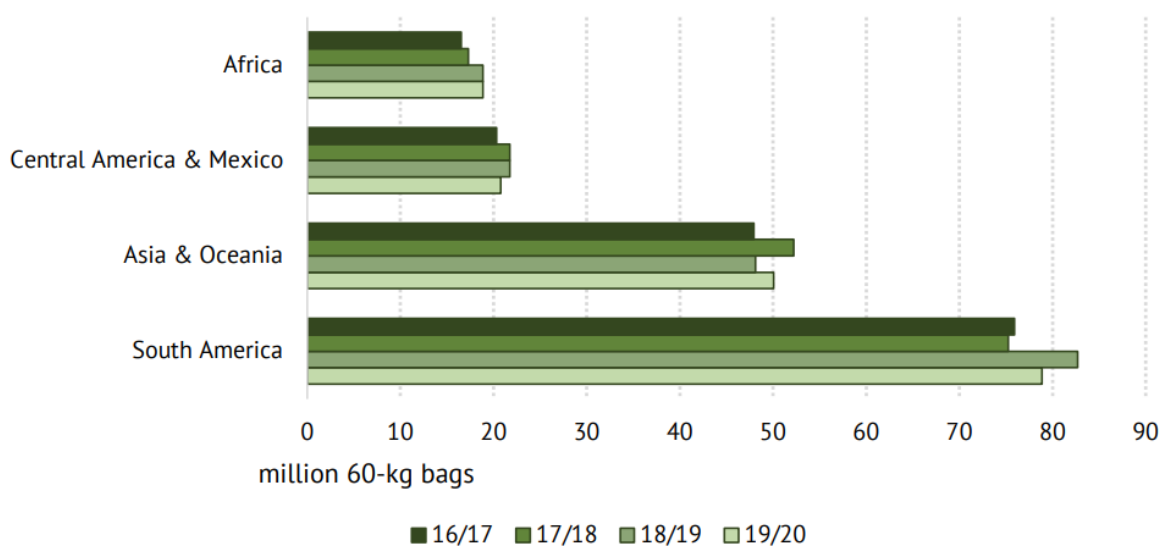
A planta do café surgiu na África, onde mais de 130 espécies do gênero *Coffea* já foram identificadas. A espécie Arábica, *Coffea arabica*, evoluiu nos planaltos do sudoeste da Etiópia e nas regiões fronteiriças do Quênia e do Sudão do Sul. O café arábica foi a primeira espécie cultivada para consumo humano e até o século XX, a única (MORRIS, 2018).

O café chegou à Europa no século XVII, após a infusão com grãos se propagar pela África e então pelo Oriente Médio. No século XVIII, o cultivo do café nas colônias francesas na América Central e no Caribe era responsável por mais da metade da produção destinada a consumo na Europa. No início do século XIX, a produção em Java ultrapassou a produção das

colônias francesas. O café chegou ao Brasil na década de 1720, em Belém do Pará, trazido da Guiana. Um século depois, na década de 1820, o Brasil já era responsável por 20% das exportações mundiais, tornando-se ao final do decênio o maior produtor de café do mundo, posição que ocupa até os dias de hoje (SIQUEIRA, 2005).

A Organização Internacional do Café (ICO) estima que a produção mundial de café entre outubro de 2019 e setembro de 2020 corresponda a 168,55 milhões de sacas de 60 kg (ICO, 2020). A figura 4 ilustra a produção regional de café durante os anos 2016/17, 2017/18, 2018/19 e 2019/20 (o denominado *coffee year* considerado pela ICO começa em outubro e termina em setembro).

Figura 4 - Produção regional de café



Fonte: ICO (2020).

A América do Sul foi responsável pela produção de 78,87 milhões de sacas ou 46,8% da produção global em 2019/20. O Brasil, maior produtor mundial, produziu 59,5 milhões de sacas, ou seja, 35,30% do café produzido no mundo durante esse período foi produzido em território brasileiro (ICO, 2020).

A tabela 5 retrata a produção total dos 10 maiores exportadores de café em 2019/20.

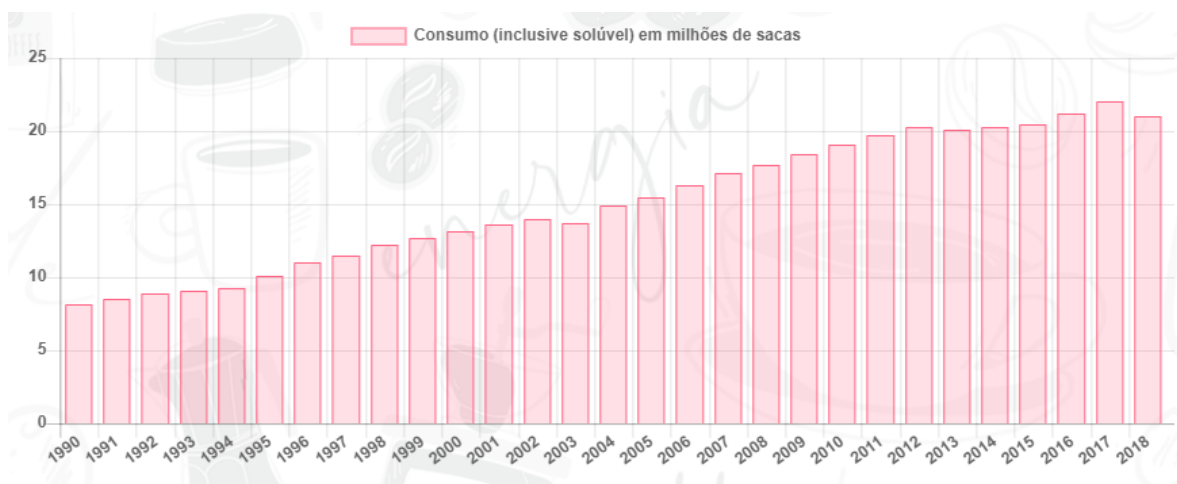
Tabela 5 - Produção Total dos 10 maiores exportadores de café em 2019/20	
País	Produção total em milhões de sacas de 60 kg
Brasil	59,50
Vietnã	30,75
Colômbia	14,10
Indonésia	11,12
Etiópia	7,70
Honduras	6,20
Índia	6,00
Uganda	5,25
México	4,70
Peru	4,00

Fonte: ICO (2020).

Já o terceiro levantamento para a safra cafeeira de 2020 realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) em setembro do mesmo ano indica uma produção de 61,6 milhões de sacas beneficiadas no Brasil, sendo 33,5 milhões destas produzidas apenas no estado de Minas Gerais. As espécies Arábica e Conilon são as mais cultivadas no Brasil, sendo a produção estimada destas na safra de 2020, 47,4 milhões e 14,3 milhões de sacas, respectivamente (CONAB, 2020).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC) foram consumidas 21 milhões de sacas de café em 2018 no Brasil (ABIC, 2018). A figura 5 informa a evolução do consumo interno de café em território brasileiro entre os anos de 1990 e 2018 em milhões de sacas.

Figura 5 - Evolução do consumo interno de café no Brasil (1990-2018)



Fonte: ABIC (2018)

O consumo interno durante o período consultado aumentou em 256,1%, ou seja, enquanto em 1990 foram consumidas em território nacional 8,2 milhões de sacas, em 2018 foram consumidas 21 milhões. Quanto ao consumo per capita em kg por habitante por ano de café torrado, houve um crescimento de 56,22% entre 1990 e 2018, i.e., o consumo per capita de café torrado evoluiu de 2,71 kg/habitante em 1990 para 4,82 kg/habitante em 2018 (ABIC, 2018).

3 Metodologia

3.1 Caracterização da pesquisa

O presente trabalho, quanto a sua natureza, trata-se de uma pesquisa aplicada. A pesquisa aplicada é um estudo que visa aplicar seus resultados na resolução de um problema real com a aplicação do conhecimento existente. A pesquisa aplicada examina um conjunto específico de circunstâncias e seu objetivo final é estabelecer uma relação entre esses resultados e uma situação específica (HABIB; PATHIK; MARYAM, 2014). Booth et al (2016) classificam uma pesquisa como aplicada quando esta aborda um problema conceitual que tem consequências práticas.

Quanto aos objetivos, a pesquisa caracteriza-se como exploratória e descritiva, pois além da busca pela familiaridade com um fenômeno e por maior compreensão sobre ele, a pesquisa propõe-se a retratar com precisão as características de uma determinada situação (KOTHARI, 2004).

A pesquisa, devido às características intrínsecas ao método AHP, lida com dados de ordem quantitativa e qualitativa. O método estrutura os componentes relevantes de um problema em uma estrutura cuja complexidade é reduzida a uma representação hierárquica funcional dos elementos de decisão importantes. A união da estrutura do problema é garantida pela análise dos aspectos quantitativos e qualitativos desses elementos por meio de escalas de razão que unem a estrutura (Wedley, 1990). Explica-se assim a presença neste trabalho de critérios subjetivos como o sabor do café e critérios de natureza quantitativa como o preço da saca de café.

Os procedimentos técnicos utilizados na pesquisa envolvem a pesquisa bibliográfica e o estudo de caso. A pesquisa bibliográfica torna possível familiarizar-se com a literatura existente sobre o tópico estudado, processo hoje facilitado graças à existência de bancos de dados eletrônicos abrangentes (MARCZYK; DEMATTEO; FESTINGER, 2005), mas não se deve limitá-la, i.e., a pesquisa bibliográfica, apenas à revisão da literatura existente, ainda que esta seja um requisito prévio indispensável à realização de uma pesquisa. Antes, a pesquisa bibliográfica envolve uma sequência flexível de procedimentos cujo objetivo é encontrar soluções ao problema proposto, estando sempre em vista o objeto de estudo (LIMA; MIOTO, 2007). Tais procedimentos serão destrinchados no tópico dos procedimentos metodológicos.

Gerring (2006) afirma que por estudo de caso compreende-se o estudo intensivo de um único caso cujos objetivos incluem lançar luz sobre uma classe maior de casos, tratando-se aqui especificamente do processo de seleção de fornecedores. Yin (2003) define *caso* como um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto real, especialmente quando a fronteira entre eles não é clara e o pesquisador possui pouco controle sobre o fenômeno e seu correspondente contexto. Ora, é exatamente estabelecer maior controle sobre o fenômeno que se busca no presente trabalho, levando-se em conta sua natureza aplicada e lançando mão da aplicação do método AHP para estabelecer um procedimento de seleção de fornecedores claro e que represente fielmente a realidade da torrefação de café.

3.2 Técnicas de coleta e análise de dados

A coleta de dados se deu através de entrevistas parcialmente estruturadas com os tomadores de decisão da fábrica em questão, durante as quais foram realizados os julgamentos paritários necessários à aplicação do método AHP levando-se em conta a escala fundamental de Saaty (1980). Estes julgamentos foram efetuados com o auxílio de formulários preenchidos pelo pesquisador e disponíveis à consulta do entrevistado. Tanto as entrevistas quanto os formulários são exemplos de técnicas de interrogação (GIL, 2002). Optou-se pela aplicação conjunta de ambos devido à flexibilidade da entrevista e a necessidade do preenchimento simultâneo do formulário, uma vez que este deve ser refeito caso a consistência dos julgamentos se mostre insatisfatória.

Em relação à análise de dados, para derivação dos vetores de prioridades optou-se pelo método da média geométrica GRMM e para avaliação da consistência dos julgamentos foi utilizado o índice GCI. A escolha deste método baseou-se na aplicabilidade do GRMM e nas considerações feitas por Brunelli (2015), já relatadas na seção 1.2.2.2 da fundamentação teórica. Os dados foram analisados através do software Microsoft Excel®.

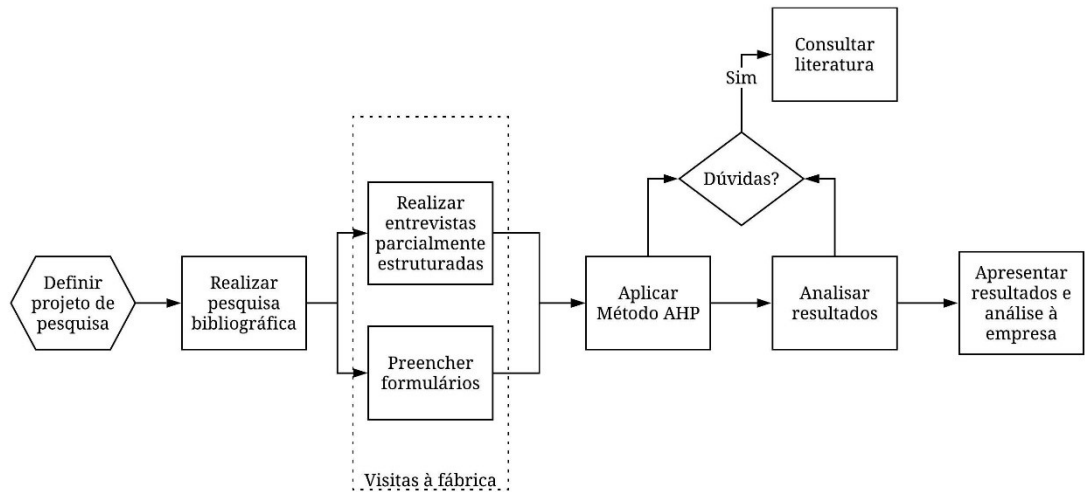
3.3 Procedimentos metodológicos

Foi realizada pesquisa bibliográfica para melhor compreender o método a ser utilizado e como utilizá-lo, além de servir como fonte de consultas recorrentes quando necessário. O estudo intensivo pelo qual se entende estudo de caso também foi realizado, os dados sendo

coletados através de entrevistas parcialmente estruturadas e formulários. Estes dados foram analisados sob o prisma do método AHP.

As etapas seguidas durante a pesquisa encontram-se representadas no fluxograma apresentado na figura 6.

Figura 6 – Etapas da pesquisa



Fonte: Próprio autor

4 Resultados e discussão

4.1 Estudo de caso

O estudo de caso foi realizado em uma torrefação localizada no triângulo mineiro. A fábrica se encontra em pleno funcionamento desde 1978. Suas principais atividades, além da torrefação, são a moagem e comercialização do café.

Trata-se de uma empresa de porte médio. Entre seus principais produtos estão o café torrado e o café torrado e moído, além do café torrado e moído a vácuo, e ainda o café cru e o café expresso. A empresa atua principalmente nas regiões do triângulo mineiro e do sudoeste do estado de Goiás.

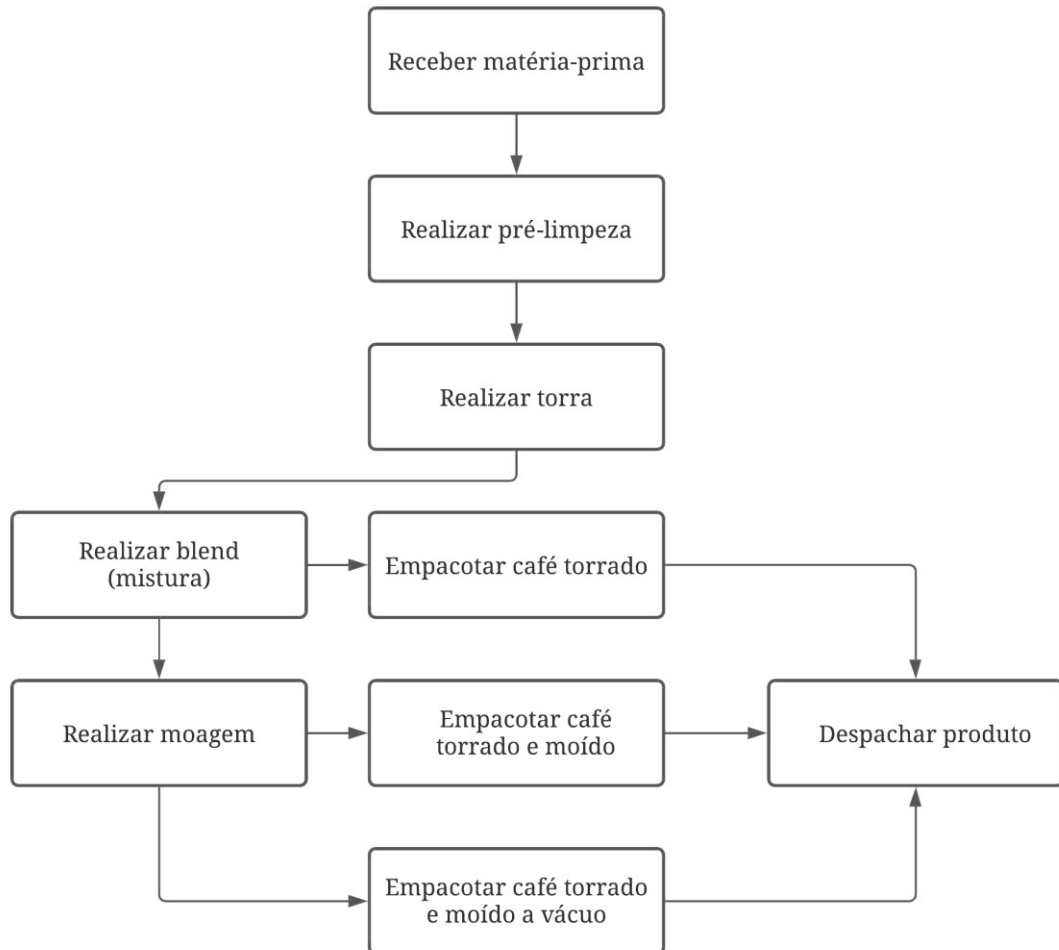
A torrefação possui o SELO DE PUREZA ABIC. O selo fornecido pela ABIC garante a participação da empresa no seu Programa Permanente de Controle de Pureza do Café. (ABIC, 2020). Entende-se por pureza a presença de até 1% de defeitos extrínsecos no produto final. Os defeitos extrínsecos são frações estranhas ao café beneficiado.

A empresa já possui um quadro de fornecedores estável, porém recebe de forma constante ofertas de novos parceiros comerciais. Portanto, determinar a viabilidade de um novo fornecedor é uma questão frequentemente presente. Quanto à seleção de um novo parceiro comercial, o processo baseia-se principalmente na experiência empírica dos tomadores de decisão e em alguns testes realizados em laboratório próprio, cujo objetivo é garantir o respeito ao regulamento para utilização selo de pureza da ABIC.

4.1.1 Mapeamento da realidade empresarial

O fluxograma ilustrado na figura 7 retrata as principais etapas produtivas da empresa, com foco na produção do café torrado e moído e café torrado e moído a vácuo.

Figura 7 – Processo produtivo



Fonte: Próprio autor

O café cru chega em sacas de 60 kg aproximadamente e é armazenado logo chega à fábrica.

A pré-limpeza é realizada através de uma peneira vibratória e consiste na eliminação da impureza da matéria-prima, como paus, pedras e cascas.

O café então é destinado ao setor de torra. A capacidade de torra é de aproximadamente 1600 kg/h de café cru. O rendimento percentual do café é calculado como a razão entre as massas de saída e entrada.

No setor de *blend*, diferentes variedades de café torrado são misturadas. A mistura ou *blend* é feita de acordo com o produto envolvido no processo. Seus objetivos incluem, entre outros, a padronização dos lotes e a otimização do custo. Portanto, para cada produto existe uma *receita* específica.

Uma vez realizado a mistura, o café torrado já é enviado ao empacotamento, enquanto o café torrado e moído e o café torrado e moído a vácuo ainda passam pelo processo de moagem antes de serem empacotados.

A tabela 6 ilustra os três tipos de café utilizados no *blend* e sua respectiva função. Essa classificação é adotada exclusivamente na fábrica e sua proporção varia conforme necessário.

Tabela 6 – Tipos de café utilizados no *blend*

Tipo de café	Função no <i>blend</i>
X	Dar sabor ao café
Y	Otimizar custo
Z	Padronizar pureza

Fonte: Próprio autor

O café tipo X é o que dá o sabor padrão da bebida. O seu sabor deve se sobressair sobre as outras variedades de café utilizadas no *blend*.

A principal função do café tipo Y é otimizar o custo. Trata-se de um café de elevada porcentagem de grãos quebrados e sabor levemente inferior ao café tipo X, o que o torna mais barato. Utiliza-se o café tipo Y apenas nas *receitas* destinadas à moagem, uma vez que o defeito intrínseco acima referenciado impede sua utilização no café apenas torrado, já que neste o aspecto visual é importante. Os grãos quebrados, porém, não interferem na qualidade da bebida e por isso podem ser utilizados nos cafés torrados e moídos.

O café tipo Z é graúdo e prezado pelo seu aspecto visual, pois é livre de defeitos extrínsecos, ou seja, tudo aquilo que não é café. Contudo, deve ser utilizado com moderação, pois sua bebida é de grau inferior. Sua principal função é padronizar a pureza, i.e., manter o nível de impureza abaixo do estabelecido pela ABIC.

Sabe-se portanto que um eventual fornecedor de café tipo X deve oferecer uma bebida de qualidade, o que torna o sabor um critério de seleção evidente e primordial. Entretanto, o que se busca é encontrar a justa relação entre o sabor e outros critérios relevantes no processo de escolha.

4.2 Aplicação do método

Esta seção descreve o processo de aplicação do método AHP conforme destrinchado na figura 3.

4.2.1 Selecionar objetivo geral

O objetivo é escolher um fornecedor de café tipo X, ou seja, um café cuja principal função é dar melhor sabor à bebida. O objetivo corresponde ao primeiro nível da estrutura hierárquica.

4.2.2 Identificar critérios relevantes

Uma vez definido o objetivo, os critérios relevantes foram identificados através das entrevistas conduzidas com os tomadores de decisão. Os critérios correspondem ao segundo nível da estrutura hierárquica e são descritos na tabela 7.

Tabela 7 – Critérios identificados

Critérios
% de defeitos extrínsecos
Perda na pré-limpeza
Custo
Sabor

Fonte: Próprio autor

O critério sabor é relevante, pois a principal função do café tipo X é estabelecer o sabor padrão do produto. Essa função exige que o café tipo X seja utilizado em abundância nas *receitas* produzidas e, para que o nível de impureza não ultrapasse o permitido, a presença de defeitos extrínsecos deve ser baixa, justificando assim a escolha da porcentagem de defeitos extrínsecos como critério relevante.

A perda na pré-limpeza também foi identificada como critério de importância, pois a matéria perdida neste processo configura-se como desperdício, o que eleva o custo de produção. Enquanto a presença de um critério denominado custo representa de forma direta e axiomática a busca pela redução dos custos de produção.

4.2.3 Identificar alternativas

Após a definição dos critérios relevantes, passou-se à identificação das alternativas. Os dados fornecidos correspondem aos mais atualizados em relação à aplicação do método. Por motivos de sigilo, os fornecedores serão designados por nomenclaturas genéricas. A tabela 8

representa os dados obtidos relacionados aos critérios *defeitos extrínsecos*, *perda na pré-limpeza* e *custo*. Todos os dados quantitativos foram obtidos de unidades de amostragem utilizadas no laboratório da própria fábrica, enquanto o custo refere-se à unidade mínima de aquisição, uma saca de 60 quilogramas. Tratando-se o critério *sabor* de natureza qualitativa, a obtenção dos dados deu-se através de análise sensorial, ou seja, os tomadores de decisão experimentaram uma pequena amostra de café de cada fornecedor e emitiram sua opinião e por meio das entrevistas realizou-se um julgamento paritário entre as alternativas conforme proposto pelo método AHP e o resultado deste está ilustrado na tabela 12.

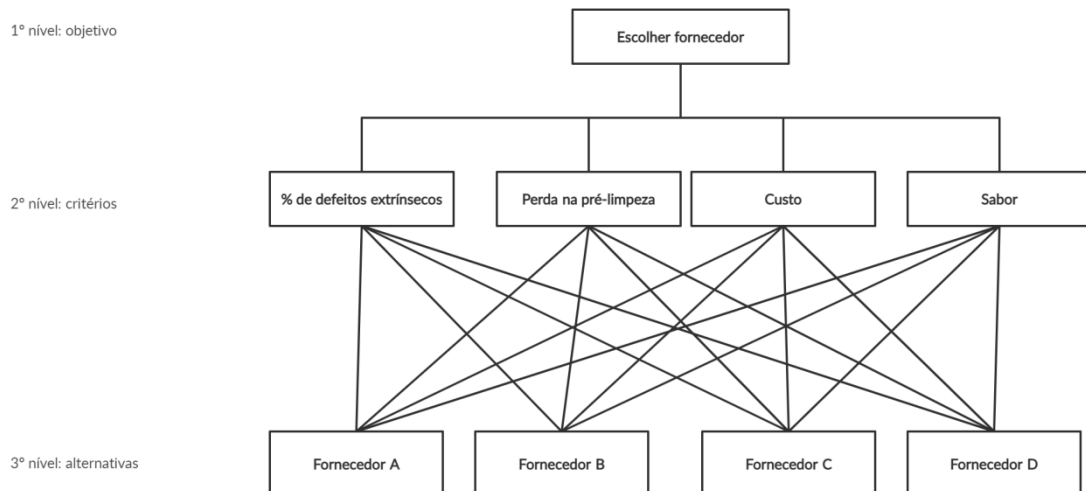
Tabela 8 – Critérios quantitativos

Alternativas	Critérios		
	Defeitos extrínsecos (%)	Perda na pré-limpeza (%)	Custo (R\$)
Fornecedor A	0,53%	0,53%	345,00
Fornecedor B	0,52%	0,41%	350,00
Fornecedor C	0,67%	0,49%	340,00
Fornecedor D	0,47%	0,44%	320,00

Fonte: Próprio autor

A estrutura hierárquica completa do problema, portanto, está representada na figura 8.

Figura 8 – Estrutura hierárquica



Fonte: próprio autor

4.2.4 Desenvolver matriz de comparação paritária entre os critérios

Foi então realizado o julgamento paritário entre os critérios. Este foi realizado durante as entrevistas e o preenchimento dos formulários. A tabela 9 ilustra o resultado.

Tabela 9 – Julgamento entre critérios

Critérios	Critérios			
	% de defeitos extrínsecos	Perda na pré-limpeza	Custo	Sabor
% de defeitos extrínsecos	1	5	2	1
Perda na pré-limpeza	$\frac{1}{5}$	1	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{5}$
Custo	$\frac{1}{2}$	7	1	$\frac{1}{3}$
Sabor	1	5	3	1

Fonte: Próprio Autor

A partir deste julgamento, obteve-se a matriz de julgamento **A**.

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 2 & 1 \\ \frac{1}{5} & 1 & \frac{1}{7} & \frac{1}{5} \\ \frac{1}{2} & 7 & 1 & \frac{1}{3} \\ 1 & 5 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

4.2.5 Calcular vetor de prioridades normalizado dos critérios

O vetor de prioridades w foi obtido através do método RGMM, ou seja, através da normalização da média geométrica de cada linha representada pela equação 5.

$$w \approx (0,3514, 0,0543, 0,2054, 0,3889)^T$$

A tabela 10 ordena os critérios em relação a sua importância. Os valores do vetor de prioridades foram transformados em porcentagem para melhor compreensão.

Tabela 10 – Importância dos critérios

Critério	Prioridade (peso)
Sabor	38,89%
% de defeitos extrínsecos	35,14%
Custo	20,54%
Perda na pré-limpeza	5,43%

Fonte: Próprio autor

4.2.6 Calcular consistência do julgamento paritário dos critérios

Procedeu-se enfim ao julgamento da consistência das comparações paritárias. Conforme estabelecido, o índice GCI representa quão consistente são os julgamentos.

Para calculá-lo, estabeleceu-se primeiramente a matriz **E** cujos elementos $e_{ij} = a_{ij} \frac{w_j}{w_i}$ representam a inconsistência local de cada elemento a_{ij} da matriz **A**.

$$\mathbf{E} \approx \begin{bmatrix} 1 & 0,77 & 1,17 & 1,11 \\ 1,29 & 1 & 0,54 & 1,43 \\ 0,86 & 1,85 & 1 & 0,63 \\ 0,9 & 0,7 & 1,58 & 1 \end{bmatrix}$$

Por fim, efetuou-se o cálculo do índice de inconsistência GCI através da equação 10. O valor obtido foi o seguinte:

$$\text{GCI}(\mathbf{A}) \approx 0,2734$$

Portanto, ao comparar o valor obtido aos valores limiares ilustrados na tabela 4 para $n = 4$, a matriz de julgamento **A** foi considerada consistente uma vez que $\text{GCI}(\mathbf{A}) \leq 0,35$.

4.2.7 Calcular vetor de prioridades locais normalizado em relação a cada critério

Efetuaram-se então os cálculos do nível seguinte (3º), executando-se o julgamento paritário entre as próprias alternativas em relação a cada critério.

Os critérios *% de defeitos extrínsecos*, *perdas na pré-limpeza* e *custo* contêm dados quantitativos, portanto bastou harmonizá-los e normalizá-los para a obtenção dos vetores de prioridades ou prioridades locais, ilustrados na tabela 11.

Tabela 11 – Vetores de prioridades

Alternativas	Vetores de prioridades normalizados (prioridades locais)		
	Defeitos extrínsecos	Perda na pré-limpeza	Custo
A	0,2539	0,2184	0,2452
B	0,2588	0,2823	0,2417
C	0,2009	0,2362	0,2488
D	0,2864	0,2631	0,2643

Fonte: Próprio autor

Quanto ao critério *sabor*, devido a sua característica qualitativa, foi necessário efetuar novo julgamento e calcular sua consistência de maneira análoga ao julgamento da matriz do 2º nível. O julgamento está ilustrado na tabela 12.

Tabela 12 – Julgamento entre alternativas em relação ao sabor

Alternativas	Alternativas			
	A	B	C	D
A	1	$\frac{1}{2}$	2	5
B	2	1	4	6
C	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	1	2
D	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{2}$	1

Fonte: Próprio Autor

Portanto, a matriz de julgamento **S** obtida é a seguinte:

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} & 2 & 5 \\ 2 & 1 & 4 & 6 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{4} & 1 & 2 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{6} & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}$$

Através do método RGMM obteve-se o seguinte vetor de prioridades locais normalizado em relação ao sabor, representados na tabela 13.

Tabela 13 – Vetor de prioridades – sabor

Vetor de prioridades locais normalizado – sabor	
A	0,2878
B	0,5066
C	0,1361
D	0,695

Fonte: Próprio autor

A matriz $\mathbf{E}_1$ obtida para o cálculo do índice de inconsistência $\text{GCI}(\mathbf{S})$ foi a seguinte:

$$\mathbf{E}_1 \approx \begin{bmatrix} 1 & 0,88 & 0,95 & 1,21 \\ 1,14 & 1 & 1,07 & 0,82 \\ 1,06 & 0,93 & 1 & 1,02 \\ 0,83 & 1,24 & 0,98 & 1 \end{bmatrix}$$

O índice de inconsistência $\text{GCI}(\mathbf{S})$ foi calculado através da equação 10.

$$\text{GCI}(\mathbf{S}) = 0,3282$$

Tratando-se $\text{GCI}(\mathbf{S}) = 0,3282 \leq 0,35$ de um valor abaixo do limiar estabelecido pela tabela 4, o julgamento foi considerado consistente.

4.2.8 Calcular prioridade global das alternativas

Uma vez derivados todos os vetores de prioridades locais, é possível determinar a prioridade global de cada alternativa a partir de uma soma ponderada. Os pesos são exatamente os elementos do vetor de prioridades dos critérios. A matriz de decisão, portanto, encontra-se na tabela 14. Os números foram transformados em porcentagem para auxiliar na interpretação do resultado.

Tabela 14 – Matriz de decisão

Matriz de decisão						
Alternativas	Critérios					
		% de defeitos extrínsecos	Perda na pré-limpeza	Custo saca	Sabor	Prioridade global
	Pesos	35,14%	5,43%	20,54%	38,89%	
A		25,39%	21,84%	24,52%	28,78%	26,34%
B		25,88%	28,23%	24,17%	50,66%	35,29%
C		20,09%	23,62%	24,88%	13,61%	18,74%
D		28,64%	26,31%	26,43%	6,95%	19,62%

Fonte: Próprio Autor

O método, portanto, indica que o fornecedor B deve ser priorizado quanto à seleção de novo fornecedor de café tipo X, pois sua prioridade global é superior a todas as outras, seguido pelos fornecedores A, D e C, respectivamente.

4.3 Discussão

A tabela 15 assinala o desempenho de cada prioridade em relação a cada critério, ordenando-os conforme sua prioridade, além de ilustrar a prioridade de cada critério em relação aos outros. O fornecedor selecionado com auxílio do método foi posto em evidência por meio da cor cinza.

Tabela 15 – Desempenho dos critérios e prioridades

Critério	Sabor	% de defeitos extrínsecos	Custo	Perda na pré-limpeza
Peso do critério	38,89%	35,14%	20,54%	38,89%
Ordem de prioridade				
Fornecedores Critérios	1º	2º	3º	4º
1º	B (50,66%)	D (28,64%)	D (26,43%)	B (28,23%)
2º	A (28,78%)	B (25,88%)	C (24,88%)	D (26,31%)
3º	C (13,61%)	A (25,39%)	A (24,52%)	C (23,62%)
4º	D (6,950%)	C (20,09%)	B (24,17%)	A (21,84%)

Fonte: Próprio autor

O fornecedor B é superior aos outros fornecedores em relação ao sabor da bebida, obtendo a primeira colocação com folga. Apesar de ser o mais caro, fato que justifica sua última posição em relação ao critério custo, o fornecedor B ainda obtém um bom desempenho no segundo critério julgado mais importante, encontrando-se na segunda posição na ordem de prioridades.

O fornecedor D encontra-se na primeira posição em relação à porcentagem de defeitos extrínsecos e ao custo, além da segunda posição em relação à perda na pré-limpeza, mas o seu péssimo desempenho em relação ao sabor, critério julgado como o mais importante, torna-o apenas a terceira opção mais viável, como ilustrado na tabela 14 da seção 4.2.8, priorizado apenas em relação ao fornecedor C.

Portanto, o método indica o fornecedor B como o mais adequado à escolha conforme esta foi projetada.

5 Considerações Finais

Tomar decisões no ambiente empresarial é um processo necessário e indispensável. A presença de interesses distintos pode em muitas ocasiões dificultá-lo. A análise de decisão multicritério (MCDM) permite a utilização de ferramentas e metodologias de apoio à decisão para resolução de problemas complexos envolvendo múltiplos critérios. O método AHP estrutura esses critérios de forma hierárquica e permite a derivação de prioridades em relação a critérios e alternativas. A seleção de fornecedores em uma fábrica de torrefação necessita da análise de dados quantitativos e qualitativos. O método AHP possibilita essa análise.

A pesquisa se propôs a aplicar o método AHP na seleção de um novo fornecedor de um tipo específico de café utilizado no processo produtivo denominado *blend*. Assim sendo, o objetivo da pesquisa foi alcançado ao se estabelecer uma ordem de prioridades de critérios e também de fornecedores, identificando aquele cuja seleção melhor representa os objetivos da própria fábrica.

De forma concentra a tabela 16 ilustra a ordem de prioridades de fornecedores. Esta tabela deve guiar o processo decisório, bem como o desempenho de cada fornecedor em relação a cada critério.

Tabela 16 – Alternativas ordenadas pela prioridade global

Alternativas	Prioridade global
Fornecedor B	35,29%
Fornecedor A	26,34%
Fornecedor D	19,62%
Fornecedor C	18,74%

Fonte: Próprio autor

5.1 Limitações e trabalhos futuros

O trabalho se limitou apenas a um tipo de café utilizado no *blend*. Trabalhos futuros podem levar a uma aplicação do método AHP na seleção de fornecedores de maneira mais abrangente. Essa abrangência também significaria a adoção de mais critérios na estrutura hierárquica a ser considerada.

Uma eventual análise de sensibilidade poderia auxiliar os tomadores de decisão a identificar quão sensíveis são suas alternativas a mudanças relacionadas aos critérios quando uma *receita* diferente for utilizada no *blend*.

Apesar das planilhas de cálculo cedidas à empresa, não foi realizado nenhuma espécie de treinamento para replicação do método, lacuna a ser preenchida em trabalho posterior.

Enfim, o custo considerado neste trabalho refere-se apenas ao custo de aquisição. Ainda que este seja o custo mais representativo da empresa, incorporar outras fontes de custo à aplicação do método auxiliaria ainda mais os interessados a determinar a melhor escolha a ser feita.

6 Referências

- Acompanhamento da safra brasileira de café, v. 6– Safra 2020, n. 3 - Terceiro levantamento. **CONAB**, Brasília, set. de 2020. Disponível em: <http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/levantamento/conab_safra_2020n3.pdf>. Acesso em: 10 de dez. de 2020.
- ALKAHTANI, M.; AL-AHMARI, A.; KAID, H., et al. **Comparison and evaluation of multi-criteria supplier selection approaches: A case study**. Advances in Mechanical Engineering, v. 11, n. 2, 2019.
- BARKER, T. J.; ZABINSKY, Z. B. **A multicriteria decision making model for reverse logistics using analytical hierarchy process**. Omega, 39 , 2011.
- BARZILAI, J.: **Deriving weights from pairwise comparison matrices**. The Journal of the Operational Research Society 48(12), 1997.
- BELTON, V.; STEWART, T. **Multiple criteria decision analysis: An integrated approach**. Norwell, MA: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- BHUSHAN, N.; RAI, K. **Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process**. New York: Springer, 2004.
- BOOTH, W. C.; COLOMB, G. G.; WILLIAMS J. M. **The craft of research**. University of Chicago press, 2016
- BRUNELLI, M. **Introduction to the analytic hierarchy process**. Helsinki: Springer, 2015.
- CHAI, J.; LIU, J. N. K.; NGAI, E. W. T. **Application of decision-making techniques in supplier selection: A systematic review of literature**. Expert Systems with Applications, 2013.
- CHAI, J.; NGAI, E. W. T. **Decision-Making Techniques in Supplier Selection: Recent Accomplishments and What Lies Ahead**. Expert Systems with Applications, 2019.
- CHAI, J.; NGAI, E. W. T. **Multi-perspective strategic supplier selection in uncertain environments**. International Journal of Production Economics, 166, 215–225, 2015.
- CHAN, H.; SUN, X.; CHUNG, S. **When should fuzzy analytic hierarchy process be used instead of analytic hierarchy process?**. Decision Support Systems. 2019.
- CHU, T. C.; LIN, Y. **An extension to fuzzy MCDM**. Computers & Mathematics with Applications, v. 57, n. 3, p. 445-454, 2009.
- Coffee year production by country. **ICO**, nov. de 2020. Disponível em: <<http://www.ico.org/prices/po-production.pdf>>. Acesso em: 10 de dez. de 2020.
- CONCEIÇÃO, ELLERY JUNIOR, CONCEIÇÃO. **Cadeia agroindustrial do café no Brasil: Uma análise do período recente**. Radar n 53, 2017.

CRAWFORD, G.; WILLIAMS, C.: **A note on the analysis of subjective judgment matrices.** Journal of Mathematical Psychology 29(4), 387–405, 1985.

DONG, Q.; ZHŪ, K.; COOPER, O. **Gaining consensus in a moderated group: A model with a twofold feedback mechanism.** Expert Systems with Applications, 71, 2017.

DONG, Y.; HONG, W.C.; XU, H.Y.; DAI LI, M. **A comparative study of the numerical scales and the prioritization methods in AHP,** European Journal of Operational Research 186, 2008.

DONG, Y.; ZHANG, G.; HONG, W.C.; XU, Y. **Consensus models for AHP group decision making under row geometric mean prioritization method.** Decis. Support Syst. 2010.

Evolução do consumo interno de café no Brasil. **ABIC**, 2018. Disponível em: <<https://www.abic.com.br/estatisticas/indicadores-da-industria/>>. Acesso em: 10 de dez. de 2020.

GERRING, J. (2006). **Case study research: Principles and practices.** Cambridge university press, 2006.

GIL, A. C. (2002). **Como elaborar projetos de pesquisa** (Vol. 4, p. 175). São Paulo: Atlas, 2002.

HABIB, M. M.; PAHIK, B. B.; MARYAM, H. **Research methodology-contemporary practices: guidelines for academic researchers.** Cambridge Scholars Publishing, 2014.

HADDAD, M.; SANDERS, D. **Selection of Discrete Multiple Criteria Decision Making Methods in the Presence of Risk and Uncertainty.** Operations Research Perspectives, 2018.

HASHEMI, S. H.; KARIMI, A.; TAVANA, M. **An integrated green supplier selection approach with analytic network process and improved Grey relational analysis.** International Journal of Production Economics, 2015.

HERMAN, M.W.; KOCZKODAJ, W.W. **A Monte Carlo study of pairwise comparison,** Information Processing Letters 57, 1996.

ISHIZAKA, A.; SIRAJ, S. **Are multi-criteria decision-making tools useful? An experimental comparative study of three methods.** Eur J Operat Res, 2018.

KAHRAMAN, C.; ONAR, S. C.; OZTAYSI, B. **Fuzzy Multicriteria Decision-Making: A Literature Review.** International Journal of Computational Intelligence Systems, 2015.

KÖKSALAN, M. et al. **“An Early History of Multiple Criteria Decision Making.”** Journal of Multi-Criteria Decision Analysis 20: 87–94, 2013.

KOTHARI, C. R. (2004). **Research methodology: Methods and techniques.** New Age International, 2004.

LIMA, E. et al. **Applying machine learning to AHP multicriteria decision making method to assets prioritization in the context of industrial maintenance 4.0**. IFAC-PapersOnLine. 2019.

LIMA, T. C. S.; MIOTO, R. C. T. **Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica**. Rev. katálysis, Florianópolis, v. 10, n. spe, p. 37-45, 2007.

MARCZYK, G.; DEMATTEO, D.; FESTINGER, D. **Essentials of research design and methodology**. John Wiley & Sons, Inc. 2005.

MARDANI, A. et al. **Multiple criteria decision-making techniques and their applications – a review of the literature from 2000 to 2014**. Economic Research-Ekonomska Istraživanja, 28(1), 2015.

Monthly coffee market report – November 2020. **ICO**, nov. de 2020. Disponível em: <<http://www.ico.org/documents/cy2020-21/cmr-1120-e.pdf>>. Acesso em: 10 de dez. de 2020.

MORRIS, J. **Coffee: A Global History**. Reaktion Books, 2018.

PEREYRA-ROJAS, E. M. **Practical Decision Making using Super Decisions v3 An Introduction to the Analytic Hierarchy Process**. Springer International Publishing, 2018.

Programa permanente de controle da pureza do café. **ABIC**, 06 de ago. de 2020. Disponível em: <https://www.abic.com.br/wp-content/uploads/2020/01/regulamento_spa06-08-2020.pdf>. Acesso em: 20 de set. de 2020.

ROY, B. **Paradigms and challenges**. In S. GRECO, M.; EHRGOTT, J. R. Figueira (Eds.), **Multiplecriteria decision analysis: State of the art surveys** (pp. 3–24). New York: Springer-Verlag, 2005.

ROY, B.; SŁOWIŃSKI, R. **Questions guiding the choice of a multicriteria decision aiding method**. EURO Journal on Decision Processes, 2013.

SAATY, T. L. **Fundamentals of Decision Making**. RSW Publications, 1994.

SAATY, T.L. **The Analytic Hierarchy Process**. New York: McGraw-Hill. 1980.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation**. RWS Publications, Pittsburgh, 1990.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. **Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process**. 2 ed., International Series in Operations Research & Management Science, 175. New York: Springer. 345 p., 2012.

SIQUEIRA, T. V. **A cultura do café: 1961-2005**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 22, p. 205-270, set. 2005.

SRDJEVIC, B. **Combining different prioritization methods in the analytic hierarchy process synthesis**. Computers & Operations Research, 32(7), 2005.

THOKALA P. et al. **Multiple criteria decision analysis for health care decision making – an introduction: report 1 of the ISPOR MCDA Emerging Good Practices Task Force.** Value Health 2016.

THOMAS, A. L. A.; REGHUNATH, J. R. **Multi-criteria decision analysis for delineation of groundwater potential zones in a tropical river basin using remote sensing, GIS and analytical hierarchy process (AHP).** Groundwater for Sustainable Development, 2020.

THOMOPOULOS, R. **A practical application approach to argumentation for multicriteria analysis and decision support.** EURO Journal on Decision Processes, 2018.

VINCKE, F. **Multicriteria decision-aid.** Wiley, Chichester, 1992.

WEDLEY, W. C. **Combining qualitative and quantitative factors—an analytic hierarchy approach.** Socio-Economic Planning Sciences, 24(1), 57–64. doi:10.1016/0038-0121(90)90028-6, 1990.

World coffee consumption. **ICO**, nov. de 2020. Disponível em: <<http://www.ico.org/prices/new-consumption-table.pdf>>. Acesso em: 10 de dez. de 2020.

YANG, J.; OGUNKAH, I. C. B. **A multi-criteria decision support system for the selection of low-cost green building materials and components.** Journal of Building Construction and Planning Research, 1(04), 89, 2013.

YIN, R. K. **Case study research: Design and methods** (3rd ed). Thousand Oaks: Sage Publications, Inc, 2003.

ZADEH, L. A. **Fuzzy sets.** Information and control, v. 8, p. 338–353, 1965.

ZAVADSKAS, E. K.; TURSKIS, Z. (2011). **Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: an overview.** Technological and Economic Development of Economy, 17(2), 397–427, 2011.

ZELENY, M. **MCDM - State and future of arts, Operations Research**, 23(Suppl. 2), pp. B413-B413, 1975.