



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE LUÍS EDUARDO MAGALHÃES
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

NAILHANE RODRIGUES CARVALHO SANTANA

**DESENVOLVIMENTO DO ÍNDICE COMPOSTO TOPSIS-PROPAGGA (ICTP)
PARA SUPORTE À DECISÃO NO PROCESSO DE ESCOLHA DE
SUPLEMENTAÇÃO BOVINA**

LUÍS EDUARDO MAGALHÃES - BA

2025

NAILHANE RODRIGUES CARVALHO SANTANA

**DESENVOLVIMENTO DO ÍNDICE COMPOSTO TOPSIS-PROPAGGA (ICTP)
PARA SUPORTE À DECISÃO NO PROCESSO DE ESCOLHA DE
SUPLEMENTAÇÃO BOVINA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal do Oeste da Bahia, Centro Multidisciplinar de Luís Eduardo Magalhães, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Armando Dias Duarte

LUÍS EDUARDO MAGALHÃES - BA

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

232 Santana, Nailhane Rodrigues Carvalho.

Desenvolvimento do índice composto TOPSIS–PROPAGGA (ICTP) para suporte à decisão no processo de escolha de suplementação bovina. / Nailhane Rodrigues Carvalho Santana. – 2025.

27 f.; il. color.

Orientador: Prof. Dr. Armando Dias Duarte.

Trabalho de Conclusão de Curso: (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro Multidisciplinar de Luís Eduardo Magalhães, Luís Eduardo Magalhães, BA, 2025.

1. Gestão da Produção. 2. Bovino de corte – suplementação alimentar. 3. Produtor rural– Bahia, região oeste da.

I. Duarte, Armando Dias. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia – Centro Multidisciplinar de Luís Eduardo Magalhães. III. Título.

CDD: 658.503

BIBLIOTECAS UFOB - Biblioteca Universitária de Luís Eduardo Magalhães

NAILHANE RODRIGUES CARVALHO SANTANA

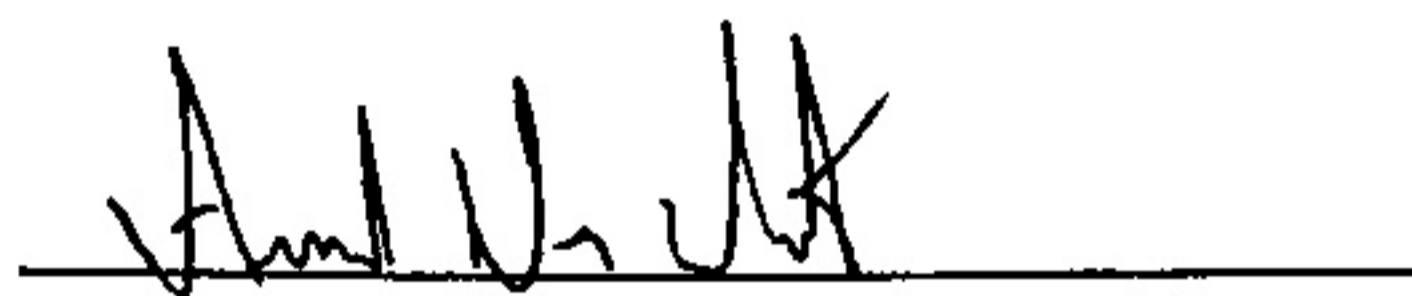
**DESENVOLVIMENTO DO ÍNDICE COMPOSTO TOPSIS-PROPAGGA (ICTP)
PARA SUPORTE À DECISÃO NO PROCESSO DE ESCOLHA DE
SUPLEMENTAÇÃO BOVINA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal do Oeste da Bahia, Centro Multidisciplinar de Luís Eduardo Magalhães, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Armando Dias Duarte

Aprovada em 13/06/2025

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Armando Dias Duarte

(Orientador)



Prof. Dr. Bruno Trindade Reis

(Universidade Federal do Oeste da Bahia/UFOB)



Prof. Dr. Mario dos Santos Bulhões

(Universidade Federal do Oeste da Bahia/UFOB)

LUÍS EDUARDO MAGALHÃES - BA

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço, antes de tudo, a Deus, que, com sua infinita sabedoria e bondade, me permitiu alcançar este objetivo. Sem a sua permissão e bênção, nada disso estaria sendo possível.

Pai, mãe, meu muito obrigada. Foi com o apoio, os ensinamentos e o amor de vocês que aprendi a enfrentar os desafios com coragem e confiança. Yasmim, como irmã mais velha, quero ser sempre um exemplo para você — não só nas conquistas, mas também na forma de enfrentar os desafios com coragem e perseverança. Sei que você me vê como inspiração, e isso me motiva a ser melhor a cada dia. A música “*93 Million Miles*”, de Jason Mraz, diz que não importa onde estejamos no mundo, sempre existe um lugar ao qual pertencemos — e esse lugar, para mim, é vocês.

Ao professor Armando, meu orientador, agradeço pela orientação, paciência e dedicação ao longo deste trabalho.

Aos professores que participaram da minha formação, muito obrigado por cada lição compartilhada e por contribuírem para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

A todos que fizeram parte desta jornada, mesmo que não estejam citados nominalmente, deixo aqui meu sincero agradecimento.

E, por fim, à banca examinadora, agradeço pela atenção e pelo tempo dedicado.

RESUMO

A pecuária de corte enfrenta limitações relevantes em períodos de escassez hídrica, especialmente quanto à manutenção da alimentação adequada do rebanho. Neste cenário, a suplementação alimentar torna-se uma alternativa importante para evitar perdas produtivas. Este trabalho teve como objetivo comparar dois métodos de apoio à decisão: PrOPPAGA (Prioridade Observada a Partir da Presunção de Atitude Gaussiana das Alternativas) e TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) aplicados à escolha de suplementos bovinos em um estudo de caso realizado com um produtor rural do município de Wanderley, na região Oeste da Bahia. Foram considerados cinco critérios: custo, palatabilidade, disponibilidade, valor nutricional e prazo de entrega. Além da comparação entre os métodos, foi desenvolvido um Índice Composto (ICTP) para combinar os resultados obtidos. Os dados analisados indicaram variações nas classificações das alternativas entre os métodos, sendo a alternativa A2 a mais indicada na maioria dos cenários. A criação do Índice Composto TOPSIS–PrOPPAGA (ICTP) possibilitou identificar, de forma mais equilibrada, a alternativa mais viável entre as analisadas, considerando que os métodos isoladamente apontaram soluções distintas. Os resultados evidenciam que a combinação de abordagens analíticas pode oferecer suporte valioso para a pecuária, especialmente em situações que exigem escolhas criteriosas. Além disso, o modelo proposto mostra-se adaptável a diferentes realidades produtivas, podendo ser aplicado em contextos variados, de acordo com as prioridades de cada produtor.

Palavras-chaves: Pecuária de corte; Suplementação bovina; Tomada de decisão multicritério.

ABSTRACT

Beef cattle farming faces significant limitations during periods of water scarcity, particularly regarding the maintenance of adequate herd nutrition. In this scenario, dietary supplementation becomes an important alternative to avoid production losses. This study aimed to compare two decision support methods: PrOPPAGA (Observed Priority Based on the Presumption of Gaussian Attitude of Alternatives) and TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) applied to the selection of bovine supplements in a case study conducted with a rural producer from the municipality of Wanderley, in the Western region of Bahia, Brazil. Five criteria were considered: cost, palatability, availability, nutritional value, and delivery time. In addition to comparing the methods, a Composite Index (ICTP) was developed to combine the results obtained. The analysis revealed differences in the rankings of alternatives between the methods, with alternative A2 being the most recommended in most scenarios. The creation of the TOPSIS–PrOPPAGA Composite Index (ICTP) enabled a more balanced identification of the most viable alternative among those evaluated, considering that the individual methods pointed to different solutions. The results show that combining analytical approaches can provide valuable support for cattle farming, especially in situations that require careful decision-making. Furthermore, the proposed model proves to be adaptable to different production realities and can be applied in various contexts, according to each producer's priorities.

Keywords: Beef cattle; Water scarcity; Bovine supplementation; Multicriteria decision-making.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma da metodologia do método PrOPPAGA.....	06
Figura 2: Método dos cartões	07
Figura 3: Área sob a curva de Gauss.....	08
Figura 4: Variação do ICTP em relação aos pesos.....	09
Figura 5: Fluxograma metodológico da pesquisa	12

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Matriz de Pesos para o método PrOPPAGA	15
Tabela 2: Matriz de Decisão.....	16
Tabela 3: Matriz de Pesos normalizado pelo método SWING	16
Tabela 4: Matriz de Desempenho do método PrOPPAGA	17
Tabela 5: Resultados de Cardinalidade para P1	17
Tabela 6: Resultado do método TOPSIS para o P1.....	18
Tabela 7: Comparação dos Rankings	18
Tabela 8: Resultados do ICTP para igualdade dos métodos	20
Tabela 9: Resultados do ICTP para a maior importância do método TOPSIS	21
Tabela 10: Resultados do ICTP para a maior importância do método PrOPPAGA	21

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Matriz de Critérios.....	13
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FAO – Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

P1 – Produtor 1

A1 – Alternativa 1

A2 – Alternativa 2

A3 – Alternativa 3

A4 – Alternativa 4

A5 – Alternativa 5

A6 – Alternativa 6

C1 – Critério 1 (Custo)

C2 – Critério 2 (Palatabilidade)

C3 – Critério 3 (Disponibilidade)

C4 – Critério 4 (Valores Nutricionais)

C5 – Critério 5 (Prazo de Entrega)

PROPPAGA – Prioridade Observada a Partir da Presunção de Atitude Gaussiana das Alternativas

TOPSIS – Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

ICTP – Índice Composto TOPSIS – PROPPAGA

AMD – Apoio Multicritério à Decisão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2.	Objetivo Geral	2
2.1	Objetivos específicos	2
2.2	Justificativa	3
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	4
3.1	Mercado Agropecuário	4
3.2	Métodos Multicritérios de apoio a tomada de decisões	5
3.3	O método PrOPPAGA	5
3.4	O método TOPSIS	9
3.5	Métodos de Tomada de Decisão para o Setor Agropecuário.....	11
4.	METODOLOGIA.....	12
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	17
5.1	Índice Composto TOPSIS – PROPPAGA (ICTP)	19
5.2	Análise de sensibilidade	20
6.	CONCLUSÕES.....	22
	REFERÊNCIAS.....	23

1 INTRODUÇÃO

A produção de produtos agrícolas e alimentícios é uma parte integral da economia global, influenciando dinâmicas comerciais, segurança alimentar e crescimento econômico. Esse papel multifacetado abrange diversos aspectos, desde o comércio internacional até práticas sustentáveis. Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), cerca de 1,3 bilhão de pessoas dependem da produção de gado para seu sustento, sendo as proteínas essenciais para manter uma dieta saudável em todo o mundo. Em 2022, a fome afetou entre 691 e 783 milhões de pessoas no mundo, enquanto a insegurança alimentar atingiu 900 milhões de indivíduos globalmente (Associação Brasileira de Exportadores de Carne Bovina, 2023). Com o crescimento populacional, espera-se que, até 2050, o mundo tenha 2 bilhões a mais de habitantes, especialmente nos países em desenvolvimento. Nesse contexto, o Brasil, com seu vasto território e condições climáticas favoráveis, se consolidou como um dos maiores produtores e exportadores de produtos agrícolas do mundo, especialmente no setor de carne. A indústria de gado brasileira é uma referência global, fornecendo carne bovina de alta qualidade para centenas de países e contribuindo significativamente para a segurança alimentar mundial (Associação Brasileira de Exportadores de Carne Bovina, 2023).

Em 2022, o setor do agronegócio da carne bovina gerou R\$ 1,02 trilhão, destacando sua importância econômica para o Brasil. O segmento de varejo liderou a cadeia de produção com R\$ 304,33 bilhões em receita, seguido pelo setor industrial com R\$ 250,56 bilhões e a pecuária com R\$ 241,38 bilhões. O Produto Interno Bruto (PIB) do setor atingiu US\$ 198,12 bilhões. Na última década, a receita total aumentou 187%, com um aumento de 12% em 2022. O PIB do sistema de agronegócio da carne representou 41,6% do PIB total do agronegócio, que foi de R\$ 2,5 trilhões em 2022. Além disso, considerando a riqueza total do Brasil de R\$ 9,9 trilhões no mesmo ano, o PIB do setor de pecuária representou 10%, o maior índice já registrado, ressaltando o papel crucial do sistema de agronegócio da carne no setor agrícola e na economia nacional mais ampla (Associação Brasileira de Exportadores de Carne Bovina, 2023).

Dentre os desafios que o setor enfrenta, a escassez hídrica representa um grande desafio na produção pecuária, especialmente em regiões onde a disponibilidade de água é restrita durante certas épocas do ano. Esse problema é tema de considerável discussão acadêmica (Ngxumeshe *et al.*, 2020; Palhares, Morelli e Novelli, 2021; Sawalhah *et al.*, 2021; Rodrigues Junior e Dziedzic, 2021; Zhang *et al.*, 2022; Menendez *et al.*, 2023; Mohammadi, Yousefi e Mahmoudi Aznaveh, 2024).

A viabilidade da pecuária de corte está intimamente ligada às economias de escala, dada a redução progressiva das margens de lucro. A escassez hídrica impacta significativamente a disponibilidade e a qualidade das pastagens, afetando o desempenho e a saúde do gado. Em tais condições, onde o desempenho animal pode ser comprometido, a suplementação alimentar torna-se uma estratégia crucial para manter a produtividade e garantir o bem-estar dos animais, além de abordar os desafios da agricultura sustentável (Spers *et al.*, 2024). Essa abordagem está alinhada com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável - ODS 2 (Fome Zero), que visa acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e promover a agricultura sustentável, assim como o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis). O ODS 12 busca garantir padrões de consumo e produção sustentáveis, promovendo o uso eficiente dos recursos e a redução de desperdícios. Melhorar a gestão pecuária e garantir uma nutrição adequada não só apoia a segurança alimentar, mas também fomenta práticas de produção de alimentos mais sustentáveis e eficientes.

Diante deste contexto, o presente trabalho abordará a aplicação dos métodos multicritérios, Prioridade Observada a Partir da Presunção de Atitude Gaussiana das Alternativas (PROPPAGA) e a *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS), na seleção de suplementos bovinos em períodos de escassez hídrica, investigando como esses métodos podem contribuir para otimizar o processo no setor agropecuário, especialmente na escolha de suplementos que atendam às necessidades nutricionais do gado durante a escassez de recursos hídricos. O estudo foi conduzido para ajudar um pecuarista de médio porte da cidade de Wanderley, localizada no Oeste da Bahia, a escolher o suplemento bovino mais adequado para a estação seca.

2. Objetivo Geral

Comparar a aplicação dos métodos PrOPPAGA e TOPSIS na escolha de suplementos para bovinos em períodos de escassez hídrica e propor um índice para integrá-los.

2.1 Objetivos específicos

- Comparar os resultados obtidos pelos dois métodos, identificando diferenças nas soluções apresentadas por cada um deles;
- Analisar as implicações das diferenças nos resultados para a tomada de decisão no setor agropecuário, considerando a escolha mais adequada de suplementos bovinos;
- Desenvolver um índice para compor os dois métodos;

2.2 Justificativa

A produção de alimentos tem se tornado um dos maiores desafios no cenário global, especialmente no que se refere ao setor agropecuário, que desempenha um papel fundamental na segurança alimentar mundial. No Brasil, a produção de carne bovina tem grande importância econômica, sendo um dos maiores produtores e exportadores globais (Associação Brasileira de Exportadores de Carne Bovina, 2022). Contudo, o país enfrenta desafios significativos no manejo de recursos naturais, como a água, essencial para a produção agropecuária. A escassez hídrica, amplificada por períodos de estiagem, impacta diretamente a qualidade das pastagens e, conseqüentemente, a saúde e o desempenho do gado (Ngxumeshe *et al.*, 2020; Rodrigues Junior e Dziedzic, 2021). Neste contexto, a suplementação alimentar se apresenta como uma alternativa estratégica para garantir a produtividade do setor, especialmente em períodos de escassez de água, com impacto direto na qualidade e quantidade da forragem disponível.

A alimentação representa, em média, de 60% a 70% do custo total da produção na pecuária de corte (EMBRAPA, 2015), o que demonstra sua importância estratégica dentro da gestão da atividade. Em períodos de escassez hídrica, esse desafio se intensifica, exigindo decisões mais criteriosas quanto à escolha de suplementos alimentares que atendam tanto às necessidades nutricionais dos animais quanto à viabilidade econômica do produtor.

Diante disso, a aplicação de métodos multicritério de apoio à decisão torna-se fundamental para auxiliar o produtor rural na identificação da alternativa mais adequada, equilibrando aspectos técnicos e financeiros. A aplicação dessas metodologias também proporciona *insights* valiosos para o planejamento estratégico do setor agropecuário, principalmente em relação ao manejo sustentável dos recursos naturais. Além disso, a integração de coprodutos e resíduos industriais como alternativas de suplementos nutricionais, como apontado por Rosa *et al.* (2019), pode ser uma solução interessante, considerando a necessidade de reduzir os custos e aumentar a viabilidade econômica para pequenos e médios produtores.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Os tópicos a seguir, serão apresentados os conceitos principais que foram adotados para o desenvolvimento do trabalho.

3.1 Mercado Agropecuário

Em 2022, 18,2% do gado abatido no Brasil foi terminado em confinamentos, enquanto a maioria foi criada em sistemas de pastagem extensiva, com aproximadamente 71,48% da produção de carne consumida internamente, equivalendo a um consumo per capita de 36,73 kg por habitante quando considerados os abates totais e a produção de carne em todos os níveis de inspeção, incluindo o mercado informal (Associação Brasileira de Exportadores de Carne Bovina, 2023). O aumento das exportações de carne bovina melhorou significativamente a balança comercial do Brasil em 2022, com exportações totais alcançando USD 334,14 bilhões e importações totalizando USD 272,61 bilhões, resultando em uma balança comercial positiva de USD 61,53 bilhões. O agronegócio representou 47,55% das exportações totais, somando USD 158,87 bilhões, com a carne bovina contribuindo com USD 12,96 bilhões, ou 8,16% das exportações do agronegócio. A carne bovina continuou sendo uma componente chave, das exportações agropecuárias do Brasil, representando 44,2% do total, enquanto a indústria de gado de corte incluindo carne, couro e sebo, representou 9% das exportações totais do agronegócio. A contribuição substancial da carne bovina para a balança comercial do Brasil destaca seu papel crucial na economia do país (Associação Brasileira de Exportadores de Carne Bovina, 2023). Em 2023, a produção de carne bovina do Brasil atingiu um recorde histórico, aumentando em 900.000 toneladas em relação a 2022, e contribuindo com 25,7% da produção nacional (Fiumaro *et al.*, 2024).

Nas últimas décadas, a pecuária brasileira melhorou marcadamente sua eficiência, aumentando a produção de carne por animal e por área (Hamid *et al.*, 2023; Santos *et al.*, 2024), utilizando tecnologias, melhores práticas e técnicas de agricultura de baixo carbono, como a restauração de pastagens e a integração de sistemas de cultivo-pecuária-florestas (ILPF), que permitiram ao setor produzir mais com menos recursos naturais e reduzir as emissões por quilograma de carne bovina produzida (Kearney *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2024; Henn *et al.*, 2024).

3.2 Métodos Multicritérios de apoio a tomada de decisões

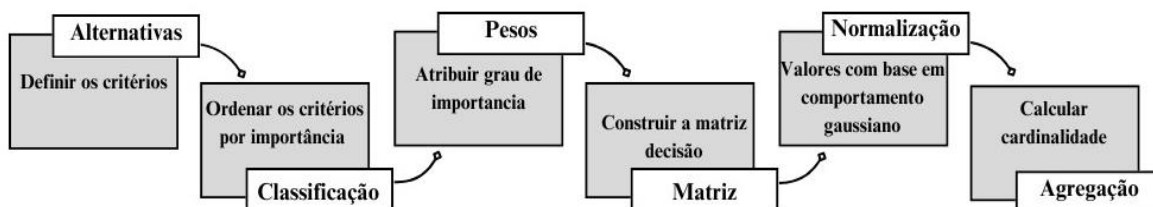
Os Métodos Multicritério de Decisão têm como objetivo apoiar a tomada de decisão pelos *stakeholders* (tomadores de decisão), em cenários onde há muitas alternativas (por exemplo, projetos, produtos, situações, soluções etc.) e o critério de decisão não é único, mas sim um conjunto, onde a solução deve atender à melhor combinação de todos eles (Antony Kevin & Arokiaprakash, 2024). A estrutura de Métodos de Estruturação de problemas (PSM) abrangem diversas expectativas da solução final, incluindo: a) Escolha ($P\alpha$); b) Categorização ($P\beta$); c) Coordenação ($P\gamma$); d) Descrição ($P\delta$), e rejeição absoluta ($P\beta^0$) (Sarah *et al.*, 2014; Ohlsson & Han, 2018; Cunha & Morais, 2019). Cada aspecto desempenha um papel crucial no aprimoramento dos processos de tomada de decisão. O PSM a ser selecionado depende do tipo de solução esperada e do nível de familiaridade do analista com ela, pois não existe uma solução única e absoluta, assim como não há um método absoluto de Pesquisa Operacional *Soft*. As opções incluem métodos como SSM, SODA, SCA, VFT, entre outros, com ferramentas adicionais como Estruturação de Problemas, Abordagem Sistemática, Modelagem Qualitativa, Prospectiva de Cenários, Mapas Cognitivos e Dinâmica de Grupo (Gomes Junior & Schramm, 2021). É crucial considerar o indivíduo, a seleção de tecnologias apropriadas, a participação de uma equipe multifuncional e a presença de um líder de estudo, o Facilitador. Nessa fase, deve-se alcançar uma visão holística/interdisciplinar do problema e fazer recomendações de ações para transformar a situação do problema na situação desejada (Cunha & Morais, 2019).

3.3 O método PrOPPAGA

O método PrOPPAGA é uma técnica de agregação e síntese que se destaca por normalizar os valores dos atributos das alternativas, assumindo que esses atributos seguem uma distribuição Gaussiana dentro dos mesmos critérios (Santos & Santos, 2022). É importante registrar que, para a aplicação do PrOPPAGA, não é necessário realizar testes de aderência para verificar a conformidade com o comportamento Gaussiano, já que o objetivo do método não é realizar análises probabilísticas. Em vez disso, o método foca exclusivamente na normalização, utilizando o valor médio dos atributos como referência. Conforme apresentado por Santos (2022), o método busca facilitar o uso por tomadores de decisão que não possuem expertise técnica em Apoio Multicritério à Decisão (AMD). A proposta do método parte da premissa de que a ferramenta decisória deve ser compreensível e manuseável, mantendo a acessibilidade mesmo para quem não domina técnicas decisórias. Nesse sentido, o PrOPPAGA consiste em um modelo acessível e de fácil aplicação, permitindo que decisões envolvendo múltiplos

critérios possam ser estruturadas de maneira mais direta. Existem diversas aplicações nos setores militar e logístico (dos Santos; dos Santos & Pellanda, 2021; Santos & Santos, 2022; Salgado *et al.*, 2023; de Souza, 2023).

Figura 1: Fluxograma da metodologia do método PrOPPAGA



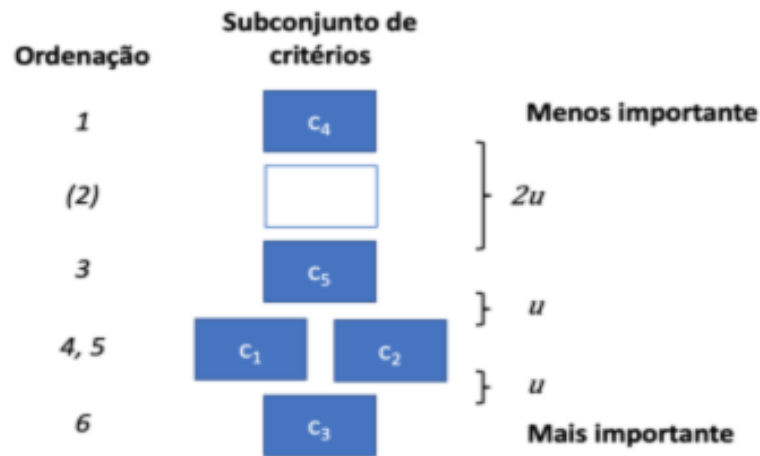
Fonte: Autora (2025).

Na fase de definição de critérios, Santos & Santos (2022) destacam que os critérios de decisão podem ser classificados como qualitativos ou quantitativos. Critérios qualitativos são subjetivos e baseados na percepção do avaliador, como conforto e estética. Já os critérios quantitativos são objetivos e mensuráveis, utilizando valores nominais como preço e peso. Critérios quantitativos podem ser subdivididos em monotônicos de ganho, onde o desempenho melhora com o aumento do valor (por exemplo, autonomia do veículo), e monotônicos de custo, onde o desempenho melhora com a diminuição do valor (por exemplo, preço do veículo).

Nesta etapa de classificação, o tomador de decisão estabelece a ordem de importância dos critérios. O tomador de decisão também pode indicar indiferença entre dois ou mais critérios, o que significa que pode atribuir igual importância a eles. A determinação dos pesos dos critérios, que corresponde às três primeiras etapas do PrOPPAGA, é feita por meio de uma adaptação do método de cartões proposto por Simos (1989).

No método original de Simos, cada critério é representado por um cartão e o decisor deve ordená-los do menos ao mais importante. Caso existam diferenças perceptíveis entre os níveis de importância de critérios consecutivos, o decisor pode inserir cartões em branco entre eles, sendo que a quantidade de cartões em branco reflete o grau de diferença percebido. A partir dessa estrutura, atribuem-se pontuações a cada critério, que posteriormente são normalizadas para obtenção dos pesos (SIMOS, 1990a; SIMOS, 1990b).

Figura 2: Método dos cartões



Fonte: Santos (2022).

A definição dos pesos dos critérios no método PrOPPAGA é realizada por meio de uma adaptação simplificada do método dos cartões, originalmente proposto por Simos. No PrOPPAGA, o processo inicia com a seleção dos critérios relevantes para o problema decisório e, em seguida, o decisor os ordena de acordo com a importância percebida, do mais importante para o menos importante. Diferentemente do método original, o PrOPPAGA não utiliza cartões em branco para representar a intensidade das diferenças entre os critérios, tampouco adota o cálculo do peso médio nem o arredondamento sugerido por Simos (Santos, 2022).

Inicialmente, o grau máximo de importância $(S_j)_{max}$ é determinado pela seguinte relação:

$$(S_j)_{max} = \begin{cases} n, & \text{se } n > 7 \\ 7, & \text{se } n \leq 7 \end{cases}$$

Os graus de importância devem ser atribuídos aos critérios restantes conforme a ordem estabelecida, não sendo necessário que sejam sequenciais. O peso de cada critério é então calculado usando uma simples média ponderada dos valores atribuídos. Após determinar os pesos dos critérios, é necessário avaliar o desempenho das alternativas em relação a esses critérios utilizando a Matriz de Decisão, que é definida da seguinte forma:

<i>Alternativas</i>	<i>Critério 1</i>	<i>Critério 2</i>	...	<i>Critério n</i>
<i>Alternativa 1</i>	d_{11}	d_{12}	...	d_{1n}
<i>Alternativa 2</i>	d_{21}	d_{22}	...	d_{2n}
⋮	⋮	⋮	d_{ij}	⋮
<i>Alternativa m</i>	d_{m1}	d_{m2}	...	d_{mn}

Se algum desses critérios for monotônico de custo, os valores de desempenho das alternativas serão multiplicados por (-1) na Matriz de Decisão (Santos & Santos, 2022).

A etapa de normalização é fundamental no método PrOPPAGA, pois é nesse momento que se aplica a suposição de comportamento Gaussiano dos desempenhos das alternativas dentro de cada critério. Essa suposição permite transformar os diferentes valores de desempenho, que inicialmente estão em escalas distintas, em uma escala comum entre 0 e 1.

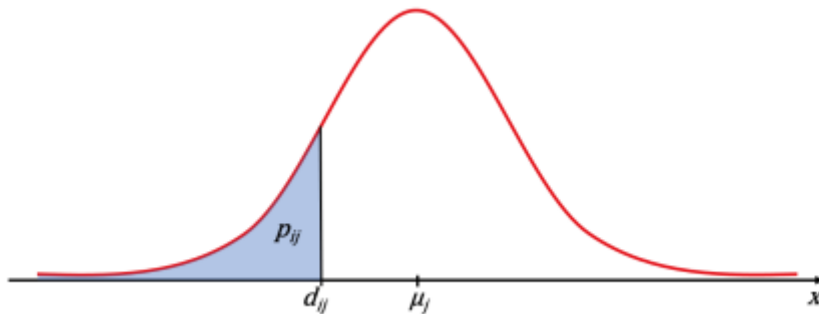
Para isso, são calculados, em cada critério (coluna da matriz de decisão), a média (μ_j) e o desvio padrão (σ_j) dos desempenhos observados, utilizando as seguintes fórmulas:

$$\mu_j = \frac{\sum_{i=1}^m d_{ij}}{m} \quad (1)$$

$$\sigma_j = \left(\frac{\sum_{i=1}^m (d_{ij} - \mu_j)^2}{m} \right)^{1/2} \quad (2)$$

Esses dois parâmetros definem uma curva de distribuição normal (Gaussiana), que será usada como base para a transformação dos dados.

Figura 3: Área sob a curva de Gauss



Fonte: Santos (2022).

A seguir, para cada valor de desempenho d_{ij} de uma alternativa a_i no critério c_j , calcula-se a área sob a curva até esse ponto, representando o valor normalizado p_{ij} , conforme:

$$p_{ij} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_j} \cdot \int_{-\infty}^{d_{ij}} \exp \left[-\frac{(x - \mu_j)^2}{2\sigma_j^2} \right] \cdot dx \quad (3)$$

Esse valor corresponde à área sob a curva de Gauss, limitada à esquerda por $-\infty$ e à direita por d_{ij} , sendo esse valor convertido em um número entre 0 e 1. Embora essa abordagem envolva conceitos estatísticos, o objetivo do método não é a realização de inferência ou previsão probabilística. A aplicação da distribuição normal serve apenas como ferramenta de

normalização, utilizando a média como ponto de referência e o desvio padrão como medida de dispersão. Dessa forma, é possível comparar desempenhos em critérios distintos de maneira padronizada e coerente, compondo a Matriz de Decisão Normalizada, a ser utilizada na etapa de agregação dos resultados (Santos, 2022).

Na fase de agregação, os valores normalizados e os pesos de cada critério são usados para realizar a agregação, resultando na cardinalidade de cada alternativa. A cardinalidade representa o valor associado a cada alternativa e é usada para classificá-las. Quanto maior a cardinalidade, melhor a alternativa. A cardinalidade pode ser visualizada algebricamente pela seguinte Equação 4:

$$v_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot p_{ij} \quad (4)$$

Em que p_{ij} são os valores normalizados e w_j os pesos de cada critério.

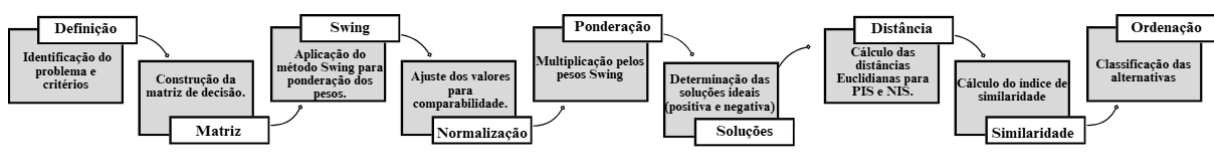
Para aplicar o método PrOPPAGA, foi utilizada uma ferramenta computacional especializada, desenvolvida com esse propósito, a qual está disponível no site www.proppaga.com.br (Santos & Santos, 2022).

3.4 O método TOPSIS

O método *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS), desenvolvido por Hwang e Yoon (1981), é uma técnica de apoio multicritério à decisão que visa selecionar a melhor alternativa com base na proximidade relativa a uma solução ideal. O princípio fundamental do método é que a alternativa mais adequada deve estar simultaneamente mais próxima da solução ideal positiva (Positive Ideal Solution - PIS), que reúne os melhores valores para cada critério analisado, e mais distante da solução ideal negativa (Negative Ideal Solution - NIS), que representa os piores valores possíveis (Hwang e Yoon, 1981).

A metodologia do TOPSIS segue um conjunto de etapas sistemáticas para avaliar as alternativas em função de múltiplos critérios, conforme a Figura 4.

Figura 4: Fluxograma da metodologia do método TOPSIS



Fonte: Autora (2025).

Os critérios de decisão utilizados no método TOPSIS podem ser classificados em qualitativos e quantitativos. Os critérios qualitativos, como palatabilidade, disponibilidade e valores nutricionais, são subjetivos e dependem da percepção dos avaliadores, enquanto os quantitativos, como custo e prazo de entrega, são objetivos e mensuráveis.

Os critérios quantitativos são subdivididos em: (a) Monotônicos de ganho: onde um maior valor indica melhor desempenho; e b) Monotônicos de custo: onde um menor valor indica melhor desempenho.

Após a seleção dos critérios e alternativas, são atribuídos pesos aos critérios, refletindo sua relevância no processo decisório. O método de ponderação pode variar, sendo comum a atribuição de pesos subjetivos por especialistas ou a utilização de métodos estruturados, como o método de Simos ou a análise de entropia (Yang e Chou, 2005; Freitas *et al.*, 2022). A matriz de decisão é organizada da seguinte maneira:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

Em que x_{ij} , representa o desempenho da alternativa i no critério j .

A normalização da matriz de decisão é realizada utilizando a técnica da normalização vetorial, conforme a equação a seguir (Equação 2):

Equação 5:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (5)$$

Em que r_{ij} , representa o valor normalizado da alternativa i no critério j .

A matriz normalizada é então ponderada de acordo com os pesos atribuídos aos critérios:

$$p_{ij} = w_j \times r_{ij} \quad (6)$$

Em que w_j representa o peso do critério j .

A solução ideal positiva A^+ e a solução ideal negativa A^- são definidas como:

$$A^+ = (p_1^+, p_2^+, \dots, p_n^+) \quad (7)$$

$$A^- = (p_1^-, p_2^-, \dots, p_n^-) \quad (8)$$

$$p_j^+ = \begin{cases} \max_i(p_{ij}), & \text{se o critério é de benefício} \\ \min_i(p_{ij}), & \text{se o critério é de custo} \end{cases}$$

$$p_j^- = \begin{cases} \min_i(p_{ij}), & \text{se o critério é de benefício} \\ \max_i(p_{ij}), & \text{se o critério é de custo} \end{cases}$$

A distância euclidiana de cada alternativa em relação às soluções ideais é calculada por:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (p_{ij} - p_j^+)^2} \quad (9)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (p_{ij} - p_j^-)^2} \quad (10)$$

Em que, d_i^+ representa a distância da alternativa à solução ideal positiva e d_i^- à solução ideal negativa.

O índice de similaridade de cada alternativa é dado por:

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (11)$$

Alternativas com valores mais próximos de 1 são consideradas mais desejáveis.

O método TOPSIS foi aplicado para comparar as alternativas levando em consideração sua proximidade à solução ideal e à solução negativa. Esse método auxilia na identificação da alternativa que se aproxima mais do ideal, ao mesmo tempo em que minimiza as distâncias das opções em relação à solução pior possível, fornecendo uma base sólida para a decisão final. O TOPSIS é particularmente eficaz em cenários com múltiplos critérios, pois permite uma análise clara das vantagens e desvantagens de cada alternativa ("Analysis of High-Performance Parallel Computing using TOPSIS Method", 2024).

Dessa forma, o TOPSIS tem sido amplamente utilizado em diferentes domínios, como avaliação de desempenho, seleção de investimentos e priorização de projetos, proporcionando um processo decisório estruturado e fundamentado, especialmente em contextos que envolvem múltiplos critérios de avaliação (Da Costa & Duarte Jr, 2013).

3.5 Métodos de Tomada de Decisão para o Setor Agropecuário

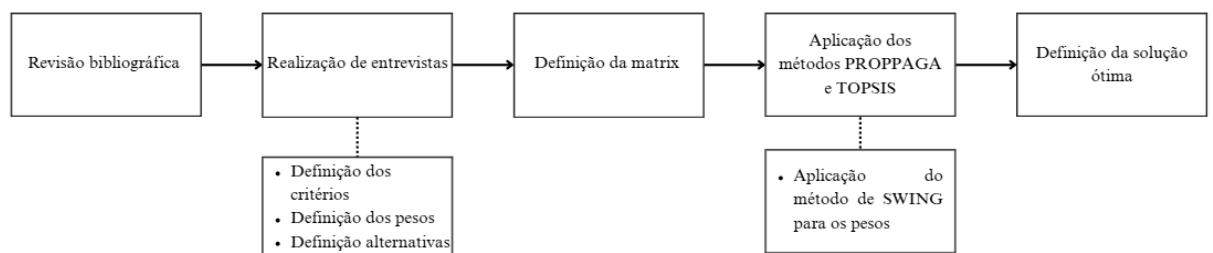
O uso de tecnologias de suporte à decisão baseadas em dados, como modelos preditivos e simulações, está transformando o setor agrícola ao fornecer insights que aprimoram a produtividade e a sustentabilidade. Essas tecnologias utilizam grandes conjuntos de dados provenientes de sensores, imagens de satélite e outras fontes para otimizar os processos agrícolas e oferecer recomendações em tempo real (Blessy, 2024; Raji; Ijomah & Eyieyien, 2024). Além disso, os métodos de tomada de decisão são cruciais para melhorar a

produtividade, a sustentabilidade e a resiliência no setor agrícola, especialmente diante dos desafios globais atuais. Esses métodos abrangem aspectos como seleção de culturas, planejamento de colheitas e manejo integrado de pragas, promovendo práticas agrícolas sustentáveis (Permono & Kurniati, 2024; Duarte, 2024). Além disso, entender os critérios de tomada de decisão sob incerteza permite que os *stakeholders* maximizem os retornos e minimizem os riscos, promovendo a adaptabilidade em ambientes em constante mudança (Gheddar, 2023). Diversas aplicações são encontradas na literatura, mas, especialmente, os métodos para selecionar suplementos alimentares bovinos envolvem vários fatores, como características do gado, valores nutricionais dos suplementos e prevenção de problemas de saúde. O principal objetivo da suplementação é abordar as deficiências criadas pelas variações sazonais de crescimento das pastagens (Spers *et al.*, 2024). Ao selecionar suplementos alimentares bovinos, diversos fatores devem ser considerados para otimizar a saúde e a produtividade dos animais. Além disso, a composição química da alimentação desempenha um papel crucial no processo de engorda do gado bovino. Estudos têm se concentrado em sistemas de classificação automatizada usando modelos de árvores de decisão para recomendar programas de alimentação com base nos diferentes estágios de crescimento (Noinan *et al.*, 2022). Ao considerar essas informações, os agricultores podem tomar decisões informadas ao selecionar suplementos alimentares para garantir o bem-estar e o desempenho do gado (Uyeh *et al.*, 2019).

4. METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como um estudo de caso, pois permite uma análise aprofundada de um fenômeno específico dentro de seu contexto real, normalmente envolvendo uma investigação detalhada de casos individuais, como políticas ou indivíduos, para obter percepções mais amplas (Brough, 2024). A Figura 5 ilustra o desenvolvimento da pesquisa:

Figura 5: Fluxograma metodológico da pesquisa



Fonte: Autora (2025).

O estudo foi conduzido para ajudar um pecuarista de médio porte da cidade de Wanderley, localizada no Oeste da Bahia, a escolher o suplemento bovino mais adequado para a estação seca. Os critérios de seleção foram baseados em consultas com as Academias Nacionais de Ciências (2016) e especialistas da área. A escolha dos métodos, se justificam pela necessidade de uma abordagem que simplifique o processo de decisão sem comprometer a precisão dos resultados. O PROPPAGA, por ser um método recente, agrega valor ao processo decisório ao propor uma normalização baseada em distribuições gaussianas, o que favorece a padronização criterial em cenários com alta variabilidade. Sua integração com o método TOPSIS, que avalia a proximidade das alternativas em relação à solução ideal, permite uma análise mais equilibrada e adaptável, especialmente em contextos agropecuários marcados por múltiplos critérios e incertezas. Métodos consagrados, como AHP, TOPSIS e PROMETHEE II, muitas vezes apresentam ordens diferentes de priorização, tornando essencial uma análise criteriosa dos resultados. Além disso, a combinação desses métodos, se apresentam como promissores para o processo de tomada de decisão como por exemplo o *Balanced Decision-Making Method* (BDMM) (Cruz *et al.*, 2025).

Este pecuarista enfrenta o desafio de selecionar o suplemento ideal dentre seis opções fornecidas por um único fornecedor, todas adaptadas às suas necessidades (Quadro 1):

Quadro 1: Matriz de Critérios

Critério	Legenda	Descrição	Unidade de medição
C1	Custo	Refere-se ao valor monetário necessário para adquirir o suplemento para o gado. Envolve a análise de quanto será pago pelo suplemento em termos financeiros, considerando a relação custo-benefício para a nutrição do rebanho.	R\$/saco de 30 kg
C2	Palatabilidade	Relaciona-se com a aceitabilidade do sabor e da textura do suplemento para o gado, influenciando diretamente a aceitação e o consumo voluntário pelos animais.	Escala de 1 a 7 (1 = menos aceito, 7 = mais aceito)
C3	Disponibilidade	Refere-se à facilidade e regularidade com que o suplemento pode ser encontrado e adquirido no mercado, por meio de distribuidores ou fornecedores especializados, garantindo seu uso contínuo na dieta dos animais.	Escala de 1 a 7 (1 = menos disponível, 7 = mais disponível)
C4	Valores nutricionais	Refere-se à composição dos nutrientes presentes no suplemento para o gado, como proteínas, vitaminas, minerais e outros elementos que contribuem para a saúde, crescimento e desempenho produtivo dos animais.	Escala de 1 a 7 (1 = baixo valor nutricional, 7 = alto valor nutricional)

C5	Prazo de entrega	Refere-se ao período necessário entre o pedido do suplemento e o momento em que ele é entregue ao comprador.	Dias

Fonte: Autora (2025).

A escolha criteriosa de suplementos para bovinos durante o período de escassez hídrica é fundamental para garantir a manutenção da saúde e produtividade do rebanho. Diversos fatores devem ser considerados nessa decisão, incluindo custo, palatabilidade, disponibilidade, valores nutricionais e prazo de entrega: a) Custo: A viabilidade econômica da pecuária de corte está diretamente relacionada à redução dos custos de produção, especialmente no que tange à alimentação. A suplementação deve ser planejada de forma a equilibrar o investimento financeiro com os benefícios esperados em termos de desempenho animal. Estudos indicam que a eficiência do suplemento diminui à medida que se aumenta a quantidade fornecida ao animal, ressaltando a importância de uma análise custo-benefício detalhada (EMBRAPA, 2015), para definição deste critério, foram considerados estudos sobre impacto nos custos operacionais (Pereira & Carvalho, 2025) e os valores médios praticados pelo fornecedor; b) Palatabilidade: A aceitação do suplemento pelos animais é crucial para assegurar o consumo adequado dos nutrientes oferecidos. Suplementos com baixa palatabilidade podem resultar em ingestão insuficiente, comprometendo o desempenho esperado. A palatabilidade em animais, incluindo bovinos, é definida como a relação entre o sabor de um alimento e seu feedback nutricional, influenciando suas preferências alimentares. Os animais tendem a preferir alimentos ricos em nutrientes, com baixo teor de toxinas e que sejam familiares desde a infância (BURRITT; PROVENZA, 2002), a escolha deste fator baseou-se em estudos sobre preferências alimentares e sua relação com a qualidade do produto final (Silva Sena *et al.*, 2024; Araújo & Costa, 2024); c) Disponibilidade: A escolha de ingredientes facilmente disponíveis na região é essencial para a formulação de suplementos, visando minimizar custos logísticos e assegurar o fornecimento contínuo. A utilização de subprodutos agroindustriais locais pode ser uma alternativa viável, desde que atendam aos requisitos nutricionais dos animais e estejam disponíveis em quantidade e qualidade adequadas (Texeira *et al.*, 2012); d) Valores nutricionais: A composição nutricional do suplemento deve ser balanceada para suprir as deficiências da dieta base, especialmente durante a seca, quando a qualidade das pastagens diminui. Suplementos proteicos, por exemplo, são utilizados para suprir a carência de proteínas de qualidade na alimentação dos bovinos, contribuindo para a manutenção do peso e saúde dos animais (Pasto com Ciência, 2023), a seleção considerou estudos sobre exigências nutricionais e formulações ideais (Silva Morais, 2001; Giacomel *et al.*, 2022; Vilela *et al.*, 2024); e e) Prazo

de entrega: A eficiência na logística de entrega dos suplementos é fundamental para garantir que os animais recebam a suplementação no momento adequado. Atrasos podem comprometer a saúde e o desempenho do rebanho, especialmente em períodos críticos como a seca. Portanto, é importante estabelecer parcerias com fornecedores confiáveis que assegurem o cumprimento dos prazos acordados (iRancho, 2024).

O pecuarista (P1) atribuiu pesos aos critérios com base em suas próprias necessidades e prioridades. O critério Valores nutricionais (C4) recebeu o maior peso, pois impacta diretamente o ganho de peso e a saúde dos animais, garantindo melhor desempenho produtivo. O Custo (C1) também foi altamente valorizado, pois influencia a viabilidade econômica da escolha. A Palatabilidade (C2) foi considerada essencial, pois afeta o consumo voluntário pelos animais. A Disponibilidade (C3) recebeu um peso intermediário, garantindo o fornecimento contínuo do suplemento. Já o Prazo de entrega (C5) teve menor impacto, pois pode ser gerenciado com planejamento. Dessa forma, os pesos refletem a melhor relação custo-benefício para o fazendeiro (Tabela 1):

Tabela 1: Matriz de Pesos para o método PrOPPAGA

Pesos atribuídos	C1	C2	C3	C4	C5
Fazendeiro	7	6	5	7	4

Fonte: Autora (2025).

Os pesos atribuídos pelo fazendeiro indicam uma clara priorização do Custo (C1) e dos Valores Nutricionais (C4), ambos recebendo o maior peso de 7. Isso demonstra que o fazendeiro está focado em equilibrar a eficiência financeira com a necessidade de um suplemento de alta qualidade que suporte a saúde, crescimento e produtividade do gado. A Palatabilidade (C2), com peso 6, também é um fator significativo, pois o fazendeiro reconhece a importância de o suplemento ser bem aceito pelos animais para garantir a ingestão e o desempenho adequados.

A Disponibilidade (C3) e o Prazo de Entrega (C5), com pesos de 5 e 4, respectivamente, têm importância moderada. O fazendeiro valoriza a disponibilidade constante do suplemento, mas está menos preocupado com a entrega rápida, provavelmente por já ter cadeias de fornecimento estabelecidas. De maneira geral, a tomada de decisão do fazendeiro reflete uma ênfase estratégica em encontrar um suplemento custo-efetivo e nutricionalmente equilibrado que os animais consumam voluntariamente, enquanto as considerações logísticas, embora importantes, ocupam uma prioridade um pouco menor. A Tabela 2 demonstra a matriz de decisão das seis opções:

Tabela 2: Matriz de Decisão

Alternativas	C1	C2	C3	C4	C5
A1	74.99	5	5	4	10
A2	115.50	5	6	5	5
A3	120.50	4	6	7	7
A4	89.0	5	5	3	8
A5	84.0	6	3	3	10
A6	110.0	4	4	5	7

Fonte: Autora (2025).

Para aplicar o método PROPPAGA, foi utilizada uma ferramenta computacional especializada, acessível através do site: www.proppaga.com.br (Santos & Santos, 2022).

Após a aplicação do método PrOPPAGA para priorizar as alternativas com base nos critérios definidos, o estudo segue com a aplicação do método TOPSIS para comparar os resultados obtidos com o PrOPPAGA. A comparação entre os métodos PrOPPAGA e TOPSIS permitirá uma análise mais abrangente, destacando as vantagens e desvantagens de cada abordagem na seleção do suplemento mais adequado para o pecuarista ("Analysis of High-Performance Parallel Computing using TOPSIS Method", 2024).

Para garantir a consistência da análise, utilizou-se a mesma matriz de decisão (Quadro 1) e a mesma matriz de pesos (Tabela 1). No entanto, na definição dos pesos, foi aplicada a Técnica de Ponderação de Oscilação (SWING), conforme descrita por Santos *et al.* (2020). Essa técnica determina os fatores de ponderação de forma indireta, por meio de uma comparação sistemática entre os atributos, baseada na importância relativa de suas variações incrementais. Inicialmente, os atributos são ordenados conforme o impacto que a melhoria de seu nível (do pior para o melhor) exerce sobre a decisão. Em seguida, um atributo de referência é selecionado, e os demais são comparados em relação a ele. Os pesos são então calculados como a razão entre os pontos atribuídos a cada atributo e o total de pontos distribuídos, garantindo sua normalização para que a soma total seja igual a 1 ou 100%.

Tabela 3: Matriz de Pesos normalizado pelo método SWING

Pesos atribuídos	C1	C2	C3	C4	C5
Fazendeiro	0,24	0,21	0,17	0,24	0,14

Fonte: Autora (2025).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após aplicar o método PrOPPAGA, a Tabela 4 demonstra a matriz de desempenho:

Tabela 4: Matriz de Desempenho do método PrOPPAGA

Alternativas	C1	C2	C3	C4	C5
A2	-115.50	5	6	5	-5
A1	-74.99	5	5	4	-10
A3	-120.50	4	6	7	-7
A4	-89.00	5	5	3	-8
A5	-84.00	6	3	3	-10
A6	-110.00	4	4	5	-7
Média	-99.00	4.83	4.83	4.50	-7.83
Desvio Padrão	17.11	0.69	1.07	1.38	1.77

Fonte: Autora (2025).

A alternativa A2 é a mais bem classificada, com uma cardinalidade de 0,597 (Tabela 5), sugerindo que ela melhor atende aos critérios estabelecidos pelo pecuarista. Isso indica que A2 oferece o desempenho mais equilibrado nos fatores importantes, como custo (C1) e outros critérios qualitativos, como disponibilidade (C3) e valores nutricionais (C4). A alternativa A1, com uma cardinalidade de 0,544, segue de perto, mostrando um bom desempenho, provavelmente devido ao seu preço competitivo e conteúdo nutricional razoável, embora ligeiramente inferior a A2 em termos de eficiência geral.

Tabela 5: Resultados de Cardinalidade para P1

Alternativas	Cardinalidade
A2	0.597
A1	0.544
A3	0.524
A4	0.492
A5	0.449
A6	0.372

Fonte: Autora (2025).

As alternativas A3 (0,524) e A4 (0,492) têm classificações intermediárias, indicando que são moderadamente eficazes em atender aos critérios do pecuarista, mas podem ser inferiores em certos aspectos, como palatabilidade (C2) ou prazo de entrega (C5). A5 e A6, com cardinalidades de 0,449 e 0,372, respectivamente, são as opções menos preferidas, provavelmente devido a custos mais elevados ou menor valor nutricional percebido. Essas alternativas podem oferecer menores relações custo-benefício ou ter desafios logísticos, tornando-as menos atraentes para o pecuarista.

A seguir, a Tabela 6 apresenta os resultados do TOPSIS, demonstrando os índices de proximidade (E_i) calculados para cada alternativa e permitindo a comparação entre as opções analisadas:

Tabela 6: Resultado do método TOPSIS para o P1

Alternativas	E_i
A3	0,623
A2	0,543
A1	0,441
A6	0,411
A4	0,345
A5	0,331

Fonte: Autora (2025).

De forma que sejam feitas discussões sobre os dois resultados, a Tabela 7, demonstra ambos os rankings:

Tabela 7: Comparação dos Rankings

Alternativa	Método TOPSIS	Método PrOPPAGA
A1	3º	2º
A2	2º	1º
A3	1º	3º
A4	5º	4º
A5	6º	5º
A6	4º	6º

Fonte: Autora (2025).

Após a aplicação do método TOPSIS, os resultados indicaram que a alternativa A3 apresentou o melhor desempenho, com um índice $E_1 = 0,623$, sendo a opção mais próxima da solução ideal de acordo com esse método. A alternativa A2 também teve um bom desempenho, ocupando a segunda posição com $E_2 = 0,543$, enquanto a alternativa A1, que havia se destacado no PROPPAGA, ficou na terceira posição com $E_3 = 0,441$. A alternativa A6 teve um desempenho intermediário, com índice de $E_4 = 0,411$, já a alternativa A4 ficou em penúltimo com $E_5 = 0,345$, enquanto a alternativa A5 obteve o menor índice ($E_6 = 0,331$), indicando menor adequação ao conjunto de critérios avaliados.

A diferença nos resultados entre os métodos PrOPPAGA e TOPSIS ocorre devido às diferentes abordagens matemáticas utilizadas por cada um para classificar as alternativas. Embora os critérios e os pesos sejam os mesmos, o PrOPPAGA avalia as opções com base em um modelo de cardinalidade que pondera os critérios diretamente, enquanto o TOPSIS determina a melhor alternativa considerando a proximidade da solução ideal e a distância da pior solução possível.

No método PrOPPAGA, a alternativa A2 foi a mais bem classificada, indicando um equilíbrio entre os critérios mais valorizados pelo pecuarista. No entanto, no TOPSIS, essa alternativa apresentou um desempenho inferior em relação à alternativa A3, ocupando a segunda posição com um índice $E_2 = 0,543$. Por outro lado, a alternativa A3, que no PrOPPAGA estava na terceira posição, apresentou o maior índice no TOPSIS ($E_3 = 0,623$), sendo apontada como a mais próxima da solução ideal segundo esse método.

A alternativa A1, que teve um bom desempenho no PrOPPAGA, ocupando a segunda posição com uma cardinalidade de 0,544 manteve-se bem classificada no TOPSIS, embora tenha ficado na terceira posição com um índice $E_3 = 0,441$. Já a alternativa A6, que no PrOPPAGA havia apresentado o menor desempenho (0,372), teve uma melhora relativa no TOPSIS, alcançando a quarta posição com $E_4 = 0,411$. A alternativa A4, que estava em posição intermediária no PrOPPAGA (0,491), teve um desempenho inferior no TOPSIS, ocupando apenas a quinta posição com $E_5 = 0,345$. Por fim, a alternativa A5, que já havia sido a penúltima colocada no PrOPPAGA (0,449), ficou na última posição no TOPSIS ($E_6 = 0,331$), o que demonstra a sua menor adequação.

5.1 Índice Composto TOPSIS – PROPPAGA (ICTP)

Dada a variação nos rankings dos dois métodos estudados, foi desenvolvido o Índice Composto TOPSIS – PROPPAGA (ICTP), cujo índice é calculado como a média ponderada dos valores normalizados de cada método, descritos através da Equação 9:

$$ICTP = w_1 \times T' + w_2 \times P' \quad (9)$$

Onde w_1 e w_2 são os pesos relativos ao grau de importância de cada método. Para normalizar os escores do TOPSIS e do PrOPPAGA, a seguinte transformação foi utilizada:

$$T' = \frac{T - T_{min}}{T_{max} - T_{min}} \quad (10)$$

$$P' = \frac{P - P_{min}}{P_{max} - P_{min}} \quad (11)$$

Onde T' e P' são os valores normalizados, T_{min} e P_{min} são os valores mínimos dos respectivos métodos e T_{max} e T_{min} os valores máximos respectivamente.

O índice ICTP foi obtido por meio da média ponderada dos valores normalizados dos métodos TOPSIS (T') e PrOPPAGA (P'), conforme Equação 9. A escolha da média ponderada permite a integração flexível entre abordagens técnicas e qualitativas, adaptando-se ao grau de importância atribuído a cada método por meio dos pesos w_1 e w_2 . A normalização min-max, expressa nas Equações 10 e 11, foi utilizada para uniformizar a escala dos escores entre 0 e 1, garantindo a comparabilidade entre os métodos.

Para o presente estudo, foram adotados os pesos iguais para os dois métodos, cujos resultados são descritos pela Tabela 8:

Tabela 8: Resultados do ICTP para igualdade dos métodos

Alternativa	T' (normalizado)	P' (normalizado)	ICTP
A2	0,725	1,000	0,863
A3	1,000	0,674	0,837
A1	0,377	0,763	0,570
A4	0,048	0,529	0,289
A5	0,000	0,342	0,171
A6	0,274	0,000	0,137

Fonte: Autora (2025).

De acordo com o Índice Composto TOPSIS–PrOPPAGA (ICTP), considerando pesos iguais para ambos os métodos (0,5 para cada), a alternativa A2 apresentou o melhor desempenho, com valor 0,863 mostrando-se como a opção mais equilibrada entre os critérios avaliados, visto que liderou no método PrOPPAGA e no ICTP, o que confirma sua consistência como a melhor alternativa entre as analisadas. A alternativa A3, embora tenha se destacado no método TOPSIS, ocupou a segunda posição no índice composto, demonstrando ser uma opção viável, mas não como a A2. Em seguida, a alternativa A1 apresentou um bom desempenho, ficando na terceira posição do ranking. As alternativas A4, A5 e A6 apresentaram os menores valores de ICTP, o que indica desempenho insatisfatório no contexto analisado, sendo consideradas menos adequadas frente às demais opções.

5.2 Análise de sensibilidade

De forma que seja analisada a sensibilidade do índice, foram adotados pesos distintos para w_1 e w_2 . Para um maior peso do método TOPSIS, w_1 assumiu o valor de 0,6 e $w_2 = 0,4$. Já para a maior importância do método PrOPPAGA, $w_1 = 0,4$ e $w_2 = 0,6$. Os resultados estão descritos nas Tabelas 9 e 10:

Tabela 9: Resultados do ICTP para a maior importância do método TOPSIS

Alternativa	T' (normalizado)	P' (normalizado)	ICTP
A3	1,000	0,674	0,869
A2	0,725	1,000	0,835
A1	0,377	0,763	0,532
A4	0,048	0,529	0,241
A6	0,274	0,000	0,165
A5	0,000	0,342	0,137

Fonte: Autora (2025).

Com a maior ponderação atribuída ao método TOPSIS ($w_1 = 0,6$), a alternativa A3 manteve-se como a melhor opção, com ICTP = 0,869, seguida de perto por A2 (ICTP = 0,835), que lidera no critério PrOPPAGA, entretanto o desempenho no PrOPPAGA não foi suficiente para alcançar o primeiro lugar no índice composto. Esse resultado evidencia que A3 tende a se beneficiar quando se dá maior peso ao desempenho técnico ou quantitativo avaliado pelo TOPSIS, embora ainda não supere a consistência de A2 que liderou no PrOPPAGA e no cenário com pesos equilibrados.. A alternativa A1 permaneceu com desempenho intermediário, enquanto A4, A5 e A6 apresentaram os menores valores de ICTP, reforçando a conclusão de que são opções menos adequadas no cenário analisado.

Tabela 10: Resultados do ICTP para a maior importância do método PrOPPAGA

Alternativa	T' (normalizado)	P' (normalizado)	ICTP
A2	0,725	1,000	0,890
A3	1,000	0,674	0,804
A1	0,377	0,763	0,609
A4	0,048	0,529	0,337
A5	0,000	0,342	0,205
A6	0,274	0,000	0,110

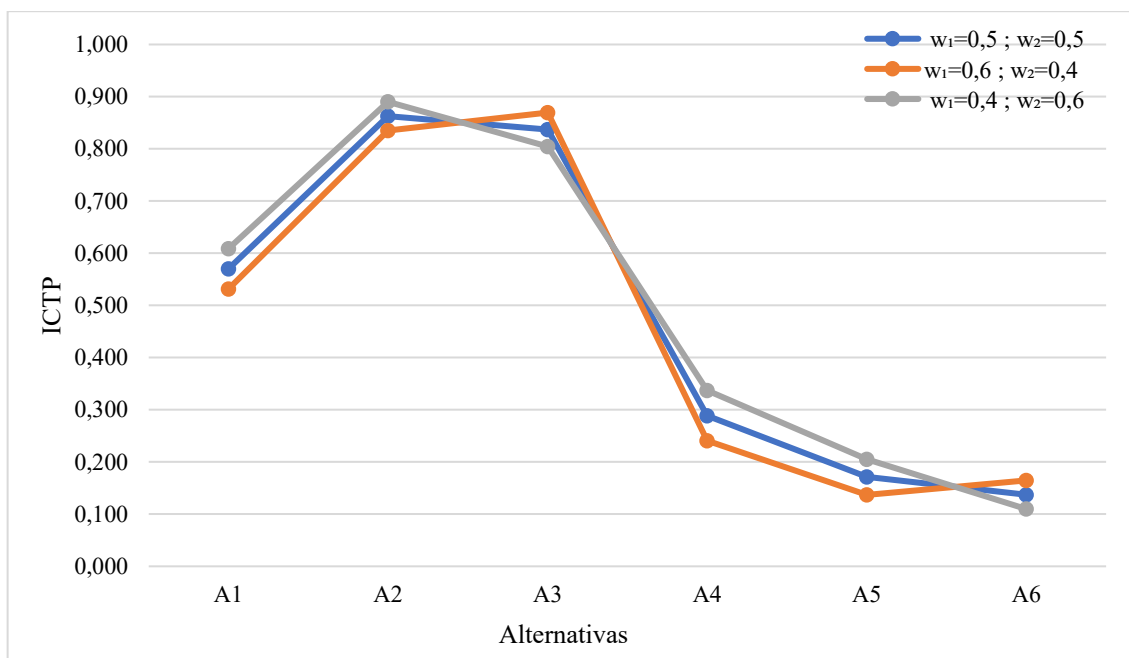
Fonte: Autora (2025).

Ao priorizar o método PrOPPAGA ($w_2 = 0,6$), a alternativa A2 ampliou sua vantagem, alcançando ICTP = 0,890, o que reforça sua consistência e equilíbrio entre os dois métodos de avaliação. A alternativa A1 melhorou sua posição no ranking (ICTP = 0,609), impulsionada por seu bom desempenho no PrOPPAGA, ao qual foi atribuída maior relevância nesta ponderação. Já a alternativa A3, apesar de ter liderado no TOPSIS, caiu para a segunda posição (ICTP = 0,804), demonstrando maior sensibilidade às mudanças nos pesos, especialmente quando o critério técnico perde predominância. As alternativas A4, A5 e A6 mantiveram baixos desempenhos, evidenciando limitações em ambos os métodos e reforçando sua inadequação no contexto avaliado.

O gráfico da Figura 6 mostra a variação do ICTP das alternativas A1 a A6 sob três cenários de ponderação entre os métodos TOPSIS (w_1) e PrOPPAGA (w_2), conforme já foi apresentado os resultados acima, A alternativa A2 apresenta o maior ICTP nos cenários com pesos iguais ($w_1 = 0,5$) e com maior peso para o PrOPPAGA ($w_2 = 0,6$), demonstrando-se a

opção mais consistente e equilibrada entre os dois métodos. Por outro lado, a alternativa A3 atinge seu melhor desempenho quando há maior peso para o TOPSIS ($w_1 = 0,6$), superando A2 nesse cenário específico, o que indica sua dependência do critério técnico. A alternativa A1 apresenta desempenho intermediário, com leve melhora quando o PrOPPAGA é mais valorizado. Já as alternativas A4, A5 e A6 mantêm os menores índices de ICTP em todos os cenários, evidenciando sua baixa adequação independentemente da ponderação adotada. O gráfico reforça como a escolha da melhor alternativa pode variar conforme a ênfase atribuída aos critérios, mas também demonstra que A2 se mantém como a alternativa de melhor equilíbrio entre os critérios na maior parte dos casos.

Figura 6: Variação do ICTP em relação aos pesos



Fonte: Autora (2025).

CONCLUSÕES

O desenvolvimento e aplicação do Índice Composto TOPSIS – PROPPAGA (ICTP) demonstrou potencial para qualificar a tomada de decisão na escolha de suplementos bovinos durante períodos de escassez hídrica. A integração dos métodos TOPSIS e PrOPPAGA permitiu mitigar limitações individuais de cada abordagem, resultando em uma análise mais balanceada entre critérios objetivos e subjetivos. Contudo, apesar da contribuição metodológica, o estudo apresenta limitações que devem ser reconhecidas. A análise foi conduzida com base em um único tomador de decisão e um número restrito de alternativas, o que pode comprometer a generalização dos resultados. Além disso, os pesos atribuídos aos critérios refletem

exclusivamente a percepção de um único pecuarista, limitando a diversidade de perspectivas. Para trabalhos futuros, recomenda-se ampliar a amostra de participantes, incorporando múltiplos perfis de tomadores de decisão para captar diferentes estratégias e prioridades. Também seria relevante testar o modelo em diferentes contextos agropecuários e regiões com distintas características climáticas e estruturais. Além disso, a aplicação do ICTP para outras problemáticas do processo de tomada de decisão. Outro ponto é a inclusão de novos critérios que podem fortalecer a abordagem diante dos desafios de sustentabilidade, tornando-a uma ferramenta mais estratégica em cenários complexos e incertos.

REFERÊNCIAS

ANALYSIS of High-Performance Parallel Computing using TOPSIS Method. *Computer Science, Engineering and Technology*, [s.l.], 2024. DOI: 10.46632/cset/2/2/3.

ANTONY KEVIN, S., AROKIAPRAKASH, A. (2024). Effectiveness of Multicriteria Decision-Making for Ongoing Construction Projects - AHP Method. In: Gencel, O., Balasubramanian, M., Palanisamy, T. (eds) Sustainable Innovations in Construction Management. ICC IDEA 2023. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 388. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-6233-4_57.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES (ABIEC). Beef Report 2023: Perfil da Pecuária no Brasil. São Paulo: ABIEC, 2023. Disponível em: <https://www.abiec.com.br/wp-content/uploads/Final-Beef-Report-2023-Completo-Versao-web.pdf>. Acesso em: 4 jun. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES (ABIEC). Relatório Anual 2022. São Paulo: ABIEC, 2022. Disponível em: <https://www.abiec.com.br>. Acesso em: 16 jan. 2025.

BLESSY, S. S. Precision agriculture decision support using machine learning. *Indian Scientific Journal of Research in Engineering and Management*, [S. l.], 2024. DOI: 10.55041/ijsrem29762.

BROUGH, P. Understanding the case study approach in business research. *Journal of Business Research*, v. 113, p. 142-157, 2024.

BURRITT, E. A.; PROVENZA, F. D. O que faz um animal escolher uma forragem. 2002. p. 129–136. Disponível em: https://works.bepress.com/frederick_provenza/478/. Acesso em: 4 jun. 2025.

CRUZ, N. N. *et al.* Implementation of the Balanced Decision-Making Method for Prioritizing Crop Planting in Small-Scale Rural Properties. *Pesquisa Operacional*, v. 45, p. e288556, 2025.

CUNHA, A.; MORAIS, D. Problem structuring methods in group decision making: a comparative study of their application. *Operational Research*, v. 19, p. 1081–1100, 2019.

Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12351-017-0335-6>. Acesso em: 4 jan. 2025.

DA COSTA, L. S.; DUARTE JR., A. M. Uma metodologia para a pré-seleção de ações utilizando o método multicritério TOPSIS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2013. Anais [...]. [S. l.]: [s.n.], 2013. p. 518-529.

DUARTE, A. D. Revisão sistemática do método TOPSIS e suas aplicações na agricultura. *Revista Produção Online*, v. 24, n. 2, p. 5245–5245, 2024.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Custo de produção na bovinocultura de corte. Brasília, 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 24 maio 2025.

EMBRAPA. Potencial de uso de tecnologias de agricultura e pecuária de precisão e automação. Secretaria de Meio Ambiente, Desenvolvimento, Ciência, Tecnologia e Inovação do Mato Grosso do Sul (SEMADESC), 2020. Disponível em: <https://www.semadesc.ms.gov.br/wp-content/uploads/2020/10/Doc124-Embrapa-Potecial-Us0-Tecnologias-de-Agric-e-Pec-de-Precisao-e-Automacao-2.pdf>. Acesso em: 24 maio 2025.

FAO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO. Produção Animal. Disponível em: <https://www.fao.org/animal-production/en>. Acesso em: 16 jan. 2025.

FIUMARO, J. E. C.; BRENNECKE, K.; ZEFERINO, C. P.; PEREIRA, L. A. M. Considerações da legislação brasileira sobre exportação de proteína animal. In: SEVEN EDITORA (Org.). *Biological and Agricultural Sciences: Theory and Practice*. [S.l.]: Seven Editora, 2024. p. 142–157. Disponível em: <https://sevenpublicacoes.com.br/editora/article/view/4611>. Acesso em: 12 mai. 2025.

FREITAS, C. A.; PEREIRA, M. T.; SALOMON, V. A. P. Priorizando ações operacionais com o método TOPSIS. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 42., 2022. Anais [...]. [S. l.]: [s.n.], 2022.

Giacomel, A., Freitas, T. C. de., Costa, A. L. B. da., Sbardelotto, E. M., Bergmann, E., & Debortoli, E. de C. (2022). Mineral supplementation for beef cattle –a meta-analysis. *Research, Society and Development*, 11(3), e39211326616. <https://doi.org/10.33448/rsdv11i3.26616>

GHEDDAR, R. Decision-making criteria under uncertainty and risk in the agricultural sector. *Journal of Innovations and Sustainability*, v. 7, n. 4, p. 06–06, 2023.

GOMES JUNIOR, C.; SCHRAMM, S. C. Métodos de estruturação de problemas: uma revisão teórica. *Revista Brasileira de Gestão e Produção*, v. 29, n. 1, p. 85-102, 2021.

HAMID, S. S. et al. Mudanças e fatores que determinam a eficiência da pecuária no estado do Pará, Amazônia brasileira. *Sustainability*, v. 15, n. 13, p. 10187, 2023.

HENN, D. et al. Estratégias de produção de gado para fornecer proteína com menos terra e menor impacto ambiental. *Journal of Environmental Management*, v. 356, p. 120569, 2024.

HWANG, C-L.; YOON, K. Multiple attribute decision making: methods and applications survey. New York: Springer, 1981.

iRANCHO. Gestão eficiente na pecuária: importância da suplementação bovina. 2024. Disponível em: <https://www.irancho.com.br>. Acesso em: 16 jan. 2025.

KEARNEY, M. et al. Mitigação das emissões de gases de efeito estufa em sistemas de produção leiteira e de corte baseados em pastagens. *Agricultural Systems*, v. 211, p. 103748, 2023.

MENENDEZ III, H. M.; ATZORI, A.; BRENNAN, J.; TEDESCHI, L. O. Using dynamic modelling to enhance the assessment of the beef water footprint. *Animal*, v. 17, p. 100808, 2023.

MOHAMMADI, A.; YOUSEFI, H.; MAHMOUDI AZNAVEH, A. Evaluation of Tehran Province Livestock Production from Water Footprint Prospective. *Environmental Energy and Economic Research*, v. 8, n. 2, 2024.

MOURA, E. G. de et al. Gestão da água na agricultura e pecuária em tempos de escassez. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, Fortaleza*, v. 15, n. 1, p. 45-60, 2021.

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE. Nutrient requirements of beef cattle: eighth revised edition. Washington, DC: The National Academies Press, 2016. DOI: <https://doi.org/10.17226/19014>.

Ngxumeshe, A. M., Ratsaka, M., Mtileni, B., & Nephawe, K. (2020). Sustainable application of livestock water footprints in different beef production systems of South Africa. *Sustainability*, 12(23), 9921.

Noinan, K., Netpakdee, N., Temdee, P., Wicha, S., & Chaisricharoen, R. (2022, January). Decision Tree based Feeding Program Recommendation in Beef Cattle. In 2022 Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology with ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering (ECTI DAMT & NCON) (pp. 389-394). IEEE

OHLSSON, J.; HAN, S. Prioritising Business Processes: Design and Evaluation of the Prioritisation and Categorisation Method (PCM). Cham: Springer, 2018. (SpringerBriefs in Business Process Management). Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-70398-5>. Acesso em: 4 jun. 2025.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Mundo terá 2,2 bilhões de pessoas a mais até 2050, indica ONU. 2023. Disponível em: <https://www.un.org>. Acesso em: 16 jan. 2025.

PALHARES, J. C. P.; MORELLI, M.; NOVELLI, T. I. Water footprint of a tropical beef cattle production system: the impact of individual-animal and feed management. *Advances in Water Resources*, v. 149, p. 103853, 2021.

PERMONO, B.; KURNIATI, A. Decision-making processes in resource management: lessons from the agriculture sector. *Journal of Resource Management and Decision Engineering*, v. 3, n. 2, p. 13-23, 2024.

PASTO COM CIÊNCIA. Suplementação bovina na seca: estratégias para manter a produtividade. 2023. Disponível em: <https://www.pastocomciencia.com.br>. Acesso em: 16 jan. 2025.

ROSA, P. P. da; NUNES, L. P.; CHESINI, R. G.; POZADA, T. N.; SILVA, G. F.; CAMACHO, J. S.; LOPES, A. A. Utilização de coprodutos industriais na alimentação de ruminantes: revisão bibliográfica. *Revista Científica Rural*, v. 21, n. 3, p. 222–234, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.30945/rcr-v21i3.2695>. Acesso em: 4 jun. 2025.

PEREIRA, B. R. A., & de CARVALHO, J. B. Análise econômica e viabilidade da pecuária de corte no Leste de Mato Grosso Do Sul. *Revista Ouricuri*, 15(1), 03-20. 2025.

RODRIGUES JUNIOR, U. J.; DZIEDZIC, M. The water footprint of beef cattle in the Amazon region, Brazil. *Ciência Rural*, v. 51, p. e20190294, 2021.

Silva Moraes, S. (2001). Importância da suplementação mineral para bovinos de corte. Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte.

RAJI, E.; IJOMAH, T. I.; EYIEYIEN, O. G. Data-driven decision making in agriculture and business: the role of advanced analytics. *Computer Science & IT Research Journal*, v. 5, n. 7, p. 1565–1575, 2024.

SALGADO, N. F.; DA SILVA, P. A. L.; DA SILVA JÚNIOR, O. S.; PORTELLA, A. G.; MOREIRA, M. Â. L.; DOS SANTOS, M. Application of the PrOPPAGA Method in the evaluation of returnable stretches in the context of the processes of early extension of railway concessions. *Procedia Computer Science*, v. 221, p. 277–284, 2023.

SANTOS, C. O. et al. Intensificação da pecuária e sustentabilidade ambiental: uma análise baseada em cenários de manejo de pastagens no cerrado brasileiro. *Journal of Environmental Management*, v. 355, p. 120473, 2024.

SANTOS, F. B.; DOS SANTOS, M.; PELLANDA, P. C. Development and implementation of a computational tool for the multi-criteria decision analysis method PrOPPAGA: case study of the sorting of hospital assistance ships of the Brazilian Navy to face the COVID-19 pandemic. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 10, p. 97813–97830, 2021.

SANTOS, FELIPE BARBOSA DOS. Prioridade observada a partir da presunção de atitude gaussiana das alternativas: uma contribuição para o processo decisório em problemas de defesa. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Defesa) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2022.

SANTOS, R. S.; BUAINAIN, A. M. Sustentabilidade e inovação no agronegócio brasileiro: o papel das tecnologias na gestão rural. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, Brasília, v. 58, n. 4, p. 698-715, 2020.

SAWALHAH, M. N. et al. Water footprint of rangeland beef production in New Mexico. *Water*, v. 13, n. 14, p. 1950, 2021.

Silva Sena, B., Souza, R. W. C., Prado, K. E. M., Neves, J. E. G., Bruziguessi, E. P., & Oliveira, I. A. A. (2024). Explorando alternativas alimentares sustentáveis: espécies nativas do cerrado na alimentação de bovinos a pasto. *Cadernos de Agroecologia*, 19(1).

SOUZA, D. S.; MILHOMEM, G. S.; DOS SANTOS, M.; DE CARVALHO, J. P. Aplicação do método PrOPPAGA na cadeia de suprimentos. *Revista Eixo*, v. 12, n. 3, p. 106–115, 2023. SPERS, M. J. S.; MARCONDES, O. G.; SPERS, R. C.; GAION, L. A.; CARRATORE, C. R. D.; DA COSTA, I. B.; DA SILVA, L. P.; MINARDI, L. G. Development of an application prototype for nutritional supplements of beef cattle in the dry season aimed for rural producers. *OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA*, [S. l.], v. 22, n. 2, p. e3501, 2024. DOI: 10.55905/oelv22n2-233. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/3501>. Acesso em: 4 jun. 2025.

TEIXEIRA, C. T.; FURQUIM, M. D.; FURQUIM, F. F.; SILVA, W. S. (2024). A utilização de subprodutos agroindustriais na alimentação de cordeiros: impactos nutricionais e morfoadaptativos. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/392034717_A_utilizacao_de_subprodutos_agroindustriais_na_alimentacao_de_cordeiros_impactos_nutricionais_e_morfoadaptativos. Acesso em: 1 jun. 2025.

Vilela, D., Matos, L. L. de D'Oliveira, P. S., Oliveira, J. S. e, Verneque, R. da S., & Martins, C. E. (2024). Índices de qualidade nutricional como critério de seleção no melhoramento de forrageiras. *Revista Contemporânea*, 4(10), e5939. <https://doi.org/10.56083/RCV4N10-002>

UYEH, D. D. et al. Precision animal feed formulation: an evolutionary multi-objective approach. *Animal Feed Science and Technology*, v. 256, p. 114211, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114211>.

WANG, T. et al. Impactos climáticos de sistemas alternativos de produção de carne bovina dependem da unidade funcional usada: peso ou valor monetário. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 121, n. 31, p. e2321245121, 2024.

YANG, T. & CHOU, P. (2005). Solving a multiresponse simulation-optimization problem with discrete variables using a multiple-attribute decision-making method. *Mathematics and Computers in simulation*, 68(1), 9-21.

ZHANG, H. et al. Water footprints and efficiencies of ruminant animals and products in China over 2008–2017. *Journal of Cleaner Production*, v. 379, p. 134624, 2022.