

APLICAÇÃO DOS SISTEMAS M-MACBETH E AHP PARA SELEÇÃO DE ADUBAGEM DA PALMA FORRAGEIRA

Cesar Pacheco de Oliveira (UFPA)

Betânia dos Reis Silva (UFPA)

Melry Wellem Moraes de Brito (UFPA)

Eduardo Braga Costa Santos (UFPA)



*O cultivo da palma forrageira (*Opuntia cochenillifera*) é uma atividade que gera bastante recurso financeiro e possui diversas aplicações, tanto para a alimentação de animais quanto para o consumo humano. Essa planta é rica em energia e água, sendo uma base alimentar importante para os rebanhos de zonas áridas e semiáridas devido a sua alta palatabilidade, além de manter suas propriedades nutricionais mesmo após longos períodos de armazenamento. O presente estudo visa a criação de um produto com base em duas plantas, o avelós (*Euphorbia tirucalli*), a palma forrageira e suas subespécies, com a finalidade de substituição alternativa ao sulfato de alumínio comumente utilizado no tratamento e decantação de fontes hídricas. Neste contexto, o objetivo deste trabalho consiste em avaliar e definir a melhor forma de nutrição orgânica para as mudas de palma, considerando que o cultivo é realizado na região do baixo tocantins, no estado do Pará, proporcionando o melhor desenvolvimento das plantas. Para embasar essa decisão, foram realizadas pesquisas acerca do tema e aplicação de métodos multicritérios como o Analytic Hierarchy Process (ahp) e M-Macbeth, que auxiliaram na análise dos critérios estabelecidos e na tomada de decisão, onde os resultados apontaram que a adubagem por meio de cascas de ovos apresentou melhor adequação para o crescimento das mudas de palma forrageira.*

Palavras-chave: Avelós, Palma Forrageira, Cultivo, Análise Multicritério, Sistemas M-MACBETH e AHP.

1. Introdução

A palma forrageira (*Opuntia cochenillifera*) é uma xerófila originária do México, típica de climas quentes e secos, possuindo extrema importância para a base alimentar de rebanhos em regiões áridas e semiáridas do Brasil e diversas partes do mundo. Essa planta possui uma alta habilidade de potencial produtivo devido ao seu metabolismo rústico, o que gera maior resistência aos ambientes com baixa umidade e alta eficiência na utilização da água em comparação a outras espécies de plantas.

Com o avanço das últimas décadas, houve um acentuado crescimento da utilização de fertilizantes químicos; estes, quando aplicados no solo, apresentam uma alta e imediata produtividade, no entanto as recorrentes aplicações desses fertilizantes podem comprometer tanto a qualidade nutricional dos alimentos quanto as características químicas do solo, em algumas situações levando a um esgotamento do potencial produtivo do solo (PORTO, 2010). Neste ínterim, a compostagem é um método de tratamento de resíduos orgânicos, no qual a matéria orgânica é transformada em um composto humificado para uso como insumo agrícola (SHEN et al., 2012), sendo considerada uma alternativa sustentável (BARRENA et al., 2011) e agregando valor comercial a um produto antes considerado desperdício ou passivo ambiental. Neste contexto, os resíduos orgânicos corretamente compostados passam a ser esteticamente aceitáveis, livres de agentes patogênicos e fáceis de manusear. Podem deste modo, ser utilizados para melhorar a estrutura de um solo, aumentar a sua retenção de água e fornecer nutrientes para o crescimento das plantas (GODLEWSKA et al., 2017).

Face ao exposto, esta pesquisa pretende criar uma alternativa de produto saneante utilizado para o tratamento de água, à base de plantas como o avelós (*Euphorbia tirucalli*) e a palma forrageira e suas diferentes espécies, cultivadas em uma área do Campus Universitário de Abaetetuba, no Pará. Com base nesse estudo, verificou-se a contribuição da ideia inovadora para os proprietários de terras da região, possibilitando a geração de uma nova cadeia produtiva, além de manter a saúde e qualidade de vida da população a custo acessível pelas empresas públicas de saneamento.

O presente trabalho tem como foco a escolha de nutrição adequada para o cultivo de mudas de Palma Forrageira, utilizando-se três grupos diferentes no processo de adubagem: cascas de ovos, cascas de bananas e terra adubada. Neste sentido, o objetivo desta pesquisa é determinar qual das alternativas é a mais adequada para a fertilização do solo, considerando o melhor desempenho, eficiência e o baixo custo de aquisição. No decorrer da pesquisa, avaliou-se o processo de seleção do tipo de adubagem adotado para as mudas, e a utilização de métodos multicritérios para auxiliar no processo da tomada de decisão.

2. Referencial teórico

2.1. A palma forrageira e seu potencial de utilização

A palma inclui plantas de várias espécies dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, ambas da família Cactácea. São plantas suculentas, com folhas muito reduzidas em forma de pequenos apêndices e muito caducas. Apresentam um pseudocaule em forma de raquetes, que podem variar de formato e, quando saudáveis, apresentam coloração esverdeada (SCHULTZ, 1943). Possui um grande armazenamento hídrico em suas raquetes, que podem comportar até 90% de água, tornando-se uma alternativa de hidratação para o gado em períodos de grande escassez hídrica. Além disso, é de extrema importância para a produção de forragem utilizada na alimentação de animais; em outros países, seu cultivo é essencial para a produção de alimento humano.

Os principais minerais encontrados nas raquetes são cálcio, potássio, magnésio e sódio, além de um baixo teor de ferro e manganês. Eles se apresentam também na forma de compostos cristalinos, com destaque para o oxalato de cálcio, que compõe o tecido do parênquima celular e desempenha a função de osmorregulação, sobretudo regulando o cálcio presente em diferentes estágios de desenvolvimento das raquetes, fazendo da palma um alimento rico nesse mineral (CONTRERAS-PADILHA et al., 2011).

No Brasil, sua maior área de plantação na região Nordeste concentra-se no agreste e sertão dos estados de Alagoas e Pernambuco, além do norte do estado de Minas Gerais. Está presente em todos os continentes com diversas finalidades, como a alimentação de animais e seres humanos; na produção de medicamentos, cosméticos e corantes; na conservação e recuperação de solos; produção de biogás, cercas vivas, paisagismo e uma gama elevada de usos. É uma planta com alto potencial de exploração comercial, distribuída nas zonas áridas e semiáridas do mundo (LEITE, 2006).

Frequentemente, a água utilizada para consumo humano é submetida a procedimentos físicos e químicos para torná-la potável, sendo eles desde a adição de saneantes até o aquecimento (ROSA; ORDÓÑEZ, 2022). A longo prazo, o uso de agentes químicos pode causar problemas de saúde às populações consumidoras, de modo que há necessidade urgente de soluções alternativas de tratamento de água que sejam seguras, econômicas, reproduzíveis, acessíveis, fáceis de usar e sustentáveis (ABOAGYE et al., 2021).

Neste sentido, técnicas de tratamento de água de forma sustentável e viáveis às condições do semiárido estão sendo desenvolvidas, e a busca por polímeros naturais tem sido crescente. Com isso, a comunidade científica vem investigando o potencial de polissacarídeos derivados da palma forrageira e de cactos da espécie *Opuntia ficus-indica* para tratamento de águas e

efluentes. Estudos realizados por pesquisadores das Universidades Federais de Campina Grande (UFCG), da Paraíba (UFPB) e de Alagoas (UFAL) levantaram uma busca sistemática em bases de dados com o objetivo de evidenciar o potencial da palma forrageira para biorremediação de águas contaminadas e verificar se esta forma de tratamento de água é utilizada em regiões semiáridas. A busca resultou em 23 documentos que tiveram tratamento meta-analítico de dados. Os resultados deste estudo indicaram que a palma forrageira (*Opuntia fícus-indica*) possui alto potencial para biorremediação de águas contaminadas, com a capacidade de eliminar, em média, 82,71% dos contaminantes da água. Os trabalhos estudados apontam que a *Opuntia fícus indica* é abundante e pode ser utilizada para biorremediação de água contaminada em regiões semiáridas como o Sahel africano. Com relação ao semiárido do Brasil, não foram encontrados estudos com uso dessa espécie para biorremediação de água contaminada (FERRAZ *et al.*, 2018).

2.2. Método Macbeth

Os métodos multicritérios têm sido amplamente utilizados para apoiar a tomada de decisões em diversas áreas do conhecimento. O método Macbeth (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*) é um sistema de apoio à decisão criado na década de 1990, que permite avaliar opções levando em consideração múltiplos critérios, diferente de outros métodos, este software fundamenta-se na ponderação dos critérios e na avaliação das opções em julgamentos qualitativos sobre diferenças de valor para ajudar um tomador de decisão, ou um grupo de aconselhamento de decisão, a realizar a comparação de dados qualitativos através de um procedimento não numérico, buscando quantificar a atratividade relativa das opções (CHAVE, *et al.*, 2010).

2.3. AHP

O AHP (*Analytic Hierarchy Process*) é um método que consiste na decomposição e síntese das relações entre critérios, culminando na priorização de seus indicadores e, assim, permitindo encontrar a melhor resposta em termos de medição única de desempenho (SAATY, 1991). De maneira geral, o AHP é uma metodologia para a medição de parâmetros. Nesse contexto, o foco não está na exatidão das medições de quantidades específicas, mas sim nas proporções entre elas. O objetivo central é a comparação par a par das opções propostas que possibilite a solução do problema e torne a tomada de decisão mais segura.

3. Metodologia

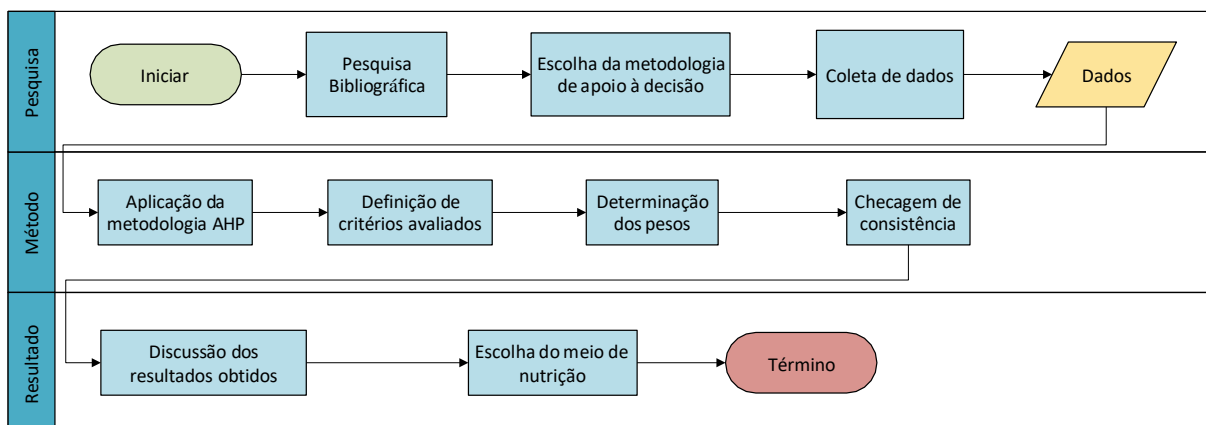
3.1. Processo de cultivo

A metodologia abordada no presente estudo consiste na análise do melhor tipo de nutrição para a produção das mudas de palma. Inicialmente, foram cultivadas 33 mudas divididas em três grupos com 11 mudas da espécie *Opuntia cochenillifera*, plantadas com espaçamento de 25 centímetros uma da outra, para evitar a competição das mudas por nutrientes durante o procedimento.

O processo de adubagem orgânica foi realizado em uma área de aproximadamente 4 m², pertencente ao Campus Universitário Federal de Abaetetuba, no estado do Pará. Foram utilizados três tipos de adubos, sendo aplicado um tipo diferente em cada grupo, o primeiro grupo contou com a aplicação de 25 gramas de cascas de ovos no solo, que são ricas em cálcio, magnésio e potássio, que são nutrientes essenciais para o desenvolvimento de plantas; o segundo grupo recebeu a aplicação de 50 gramas de terra adubada, um tipo de mistura de terra vegetal e adubo que umedecem e nutrem as raízes das plantas; já o terceiro grupo recebeu a aplicação de 50 gramas de cascas de bananas compostadas.

Diante das pesquisas abordadas e conhecimentos adquiridos durante o período, foram definidas três etapas para realização do processo de escolha do nutriente. O fluxograma apresentado na Figura 1, mostra todas as etapas realizadas no desenvolvimento, onde na etapa de método as análises multicritérios foram aplicadas através dos métodos AHP que é voltado para a tomada de decisão em conjunto com o software M-Macbeth para avaliar as opções em cada critério e fornecer resultados mais precisos. O processo de cultivo teve início em setembro de 2023 e se estende até os dias atuais para análise do desenvolvimento das mudas e posteriormente a criação do produto citado anteriormente neste trabalho.

Figura 1 - Fluxograma do processo



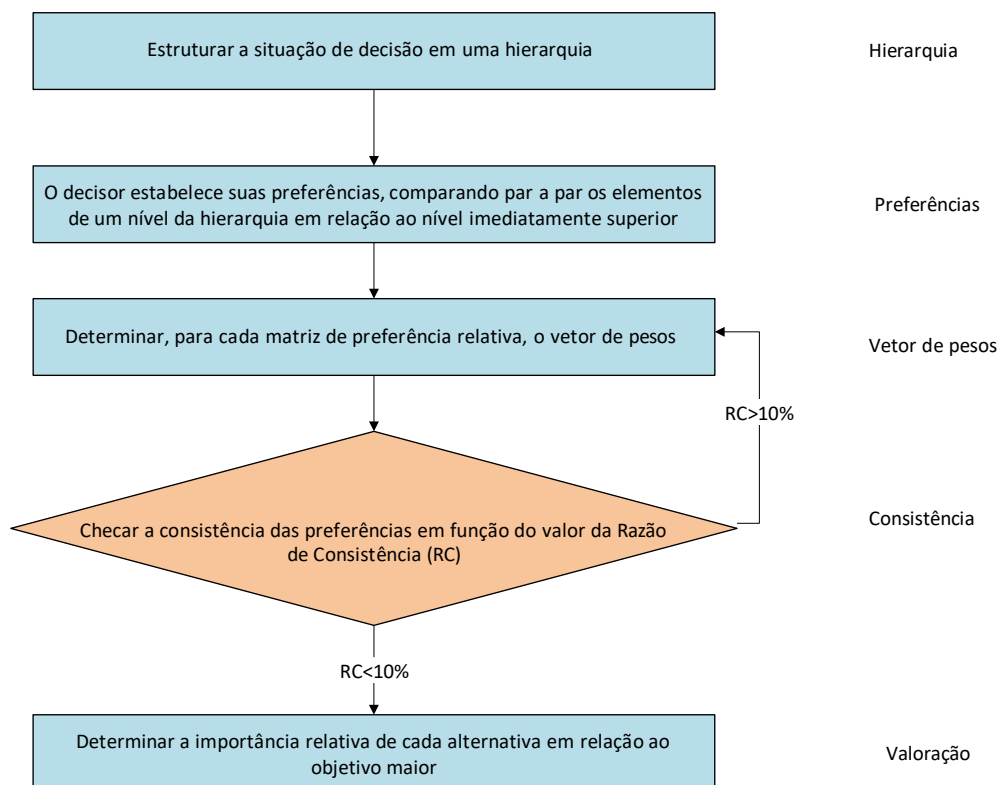
Fonte: Autores (2025)

3.2. Aplicação do método AHP

Para Schmidt (1995), para que a aplicabilidade seja possível é necessário que ela seja composta por alguns passos (Figura 2), sendo eles quatro etapas e uma tomada de decisão:

- a) Fazer o gerenciamento de forma hierárquica;
- b) Realizar benchmark entre pares de níveis de hierarquias para avaliar e pontuar preferências pré-estabelecidas entre os elementos da pesquisa;
- c) Determinar o vetor de pesos da matriz de preferência;
- d) Analisar a viabilidade em comparação do valor da RC (Razão de Consistência). Se a RC esteja maior que o valor de 10%, deve-se refazer o terceiro passo (etapa c). Caso não ocorra deve prosseguir para o próximo passo;
- e) Escolher a importância relativa de cada opção em relação ao objetivo que se quer alcançar. O fluxograma a seguir.

Figura 2 - Fluxograma de aplicação de AHP



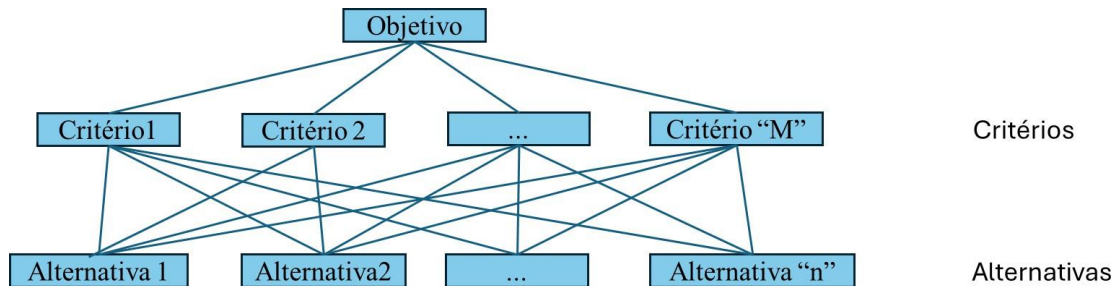
Fonte: Schmidt (1995)

3.2.1. Construção das hierarquias

Para melhor compreensão e análise do problema, tanto os critérios quanto as alternativas foram estruturadas de forma hierárquica, sendo o primeiro nível da hierarquia correspondente ao

objetivo geral do problema, o segundo aos critérios e o terceiro às alternativas, conforme o que se observa na Figura 3.

Figura 3 - Estrutura hierárquica básica



Fonte: Idealizada por MARINS (2009)

3.2.2. Definições de prioridade

Após estabelecer a aplicabilidade, deve-se realizar a comparação entre os pares de critérios. Para isso é necessário escalar o quanto cada elemento é importante para atender o objetivo e dever ser considerado com maior peso em relação aos outros destacando sua prioridade, conforme a escala definida por (SAATY, 2008), representada na Tabela 1.

Tabela 1 – Escala idealizada

| Grau de importância | Definição | Explicação |
|---------------------|--|---|
| 1 | Mesma importância | As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo |
| 3 | Importância pequena de eu sobre a outra | A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra |
| 5 | Importância grande ou essencial | A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra |
| 7 | Importância muito grande ou demonstrada | Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação a outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática |
| 9 | Importância absoluta | Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições |
| 2,4,6,8 | Valores intermediários entre os valores adjacentes | Quando se procura uma condição entre duas definições |

Fonte: Adaptado de Saaty (2008)

Neste contexto, a construção da matriz de julgamento é definida segundo elementos e os elementos são definidos pelas seguintes condições:

- $a_{ij} = 0$ (positiva)
- $a_{ij} = 1 \therefore a_{ji} = 1$
- $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$ (recíproca)

- $a_{ik} = a_{ij} \times a_{jk}$ (consistência)

Seguindo a construção da matriz, as etapas de normalização das matrizes de julgamento, o cálculo das prioridades médias locais e os cálculos das prioridades globais.

3.2.3 Consistência de lógica

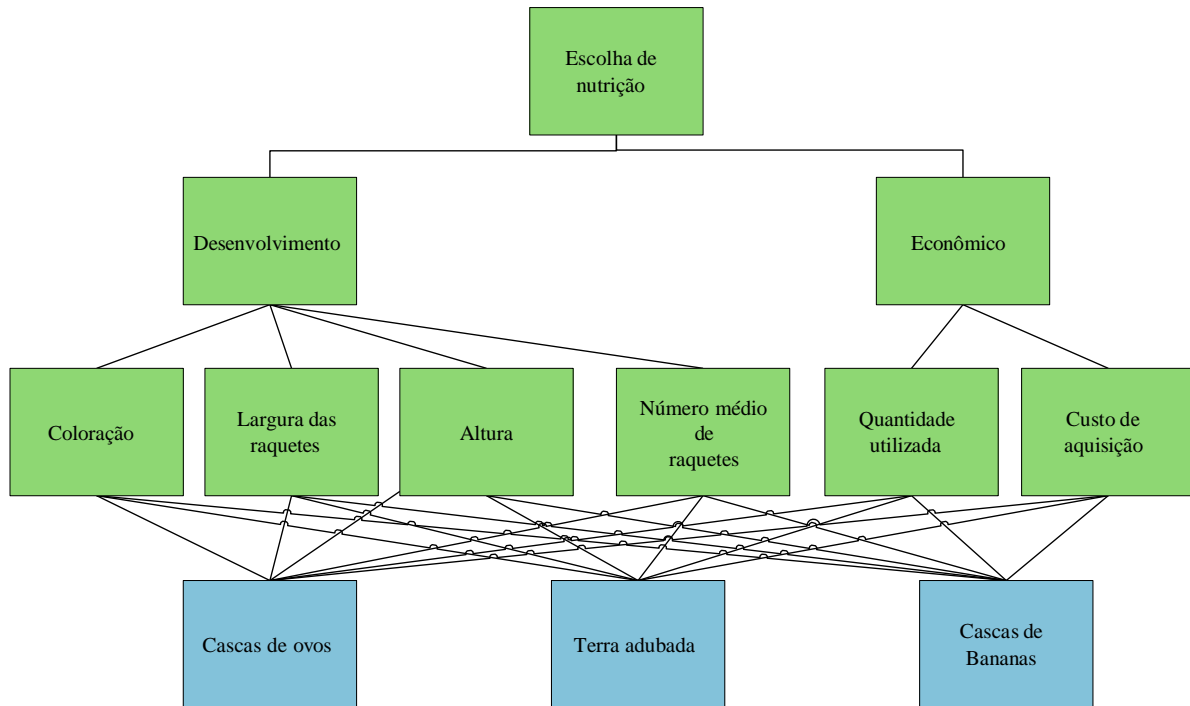
Trata-se de que o ser humano tem a habilidade de estabelecer relações entre objetivos ou ideias de forma que estas sejam coerentes para se relacionarem entre si, assim como as relações apresentadas disponham de consistência. Neste fito, calcula-se a razão de consistência dos julgamentos, denotado por $RC=IC/IR$, onde IR é o índice de consistência randômico obtido por uma matriz recíproca de ordem “n”, com elementos não negativos e gerada randomicamente; enquanto o IC é o índice de consistência, sendo dado por $Ic = (\lambda_{Max} - n)/(n - 1)$, onde λ_{Max} são o maior autovalor da matriz de julgamentos e a condição de consistência dos julgamentos deve ser $RC \leq 0,10$ [42,43,45] para ser considerado consistente.

3.3. Definição dos critérios

Para esta etapa, utilizaram-se parâmetros para definir uma forma padronizada de nutrição para a produção do composto à base de avelós acrescentado ao sumo de palma forrageira. Neste projeto, dá-se foco aos padrões observados para a palma forrageira, que incluíram altura, número de ramificações presentes e coloração das mudas. Além disso, também foram considerados os custos de aquisição do tipo de adubação e a quantidade utilizada. O composto denominado como substrato é feito de cascas de ovos, obtidas a um custo zero. Contudo, a terra adubada pode ser encontrada em qualquer loja especializada em artigos de jardinagem, por um custo médio de R\$ 3,60 por quilo. Já para a aquisição das cascas de banana, que são utilizadas na composição do substrato, o custo é de R\$ 30,20.

Para realizar a comparação entre os tipos de adubação, propuseram-se os seguintes critérios e subcritérios para análise e escolha, conforme representado na Figura 4. A árvore de decisão apresentada foi criada para demonstrar a estrutura hierárquica definida e traduzir a sequência de decisões que serão tomadas com base nos resultados obtidos posteriormente.

Figura 4 – Árvore de decisão



Fonte: Autores (2025)

Os critérios de desenvolvimento foram divididos em quatro subcritérios:

1. **Altura:** Medição da média de altura obtidas para cada grupo de mudas que receberam as respectivas nutrições.
2. **Número médio de raquetes:** Número médio de ramificações desenvolvidas no período analisado.
3. **Coloração:** Análise da coloração das mudas consideradas mais saudáveis, este critério é considerado qualitativo.
4. **Largura das raquetes:** Largura média das mudas de palma forrageira.

Assim como o desenvolvimento, o critério econômico foi dividido em outros dois subcritérios:

1. **Custo de aquisição:** custo para aquisição dos fertilizantes.
2. **Quantidade utilizada:** Quantidade administrada em gramas para cada planta.

4. Resultados

4.1. Aplicações dos critérios no software M-Macbeth

De acordo com os critérios selecionados anteriormente para as vertentes de desenvolvimento e econômica, foi construída uma matriz de decisão (Tabela 2) que teve como base a utilização da árvore de decisão (Figura 4). O modelo de matriz foi construído inicialmente no *software* M-Macbeth e representado em forma de tabela para melhor visualização dos resultados.

Tabela 2 – Tabela de performance

| | Custos | Quantidade | Largura | Altura | Coloração | Nº de Raquetes |
|-------------------|--------|------------|---------|--------|-----------|----------------|
| Cascas de ovos | 1 | 5 | 8,64 | 7 | Niv. 4 | 9,62 |
| Cascas de bananas | 9 | 8 | 4 | 5,77 | Niv. 2 | 7,73 |
| Terra adubada | 3,6 | 8 | 7,94 | 6 | Niv. 4 | 8 |

Fonte: Autores (2025)

Após a realização da montagem da matriz de decisão, o próximo passo consistiu na distribuição dos pesos, representados na matriz de ponderação da Tabela 3. Nesta etapa, foi necessário combinar os pares de critérios. Por se tratar de um projeto de certa complexidade, o uso do *software* M-Macbeth define os vetores de critérios necessários, facilitando a tomada de decisão por meio de algoritmos de pontuação e ponderação dos critérios, além de promover a análise e comparação do tamanho das mudas.

Tabela 3 - Matriz de ponderação

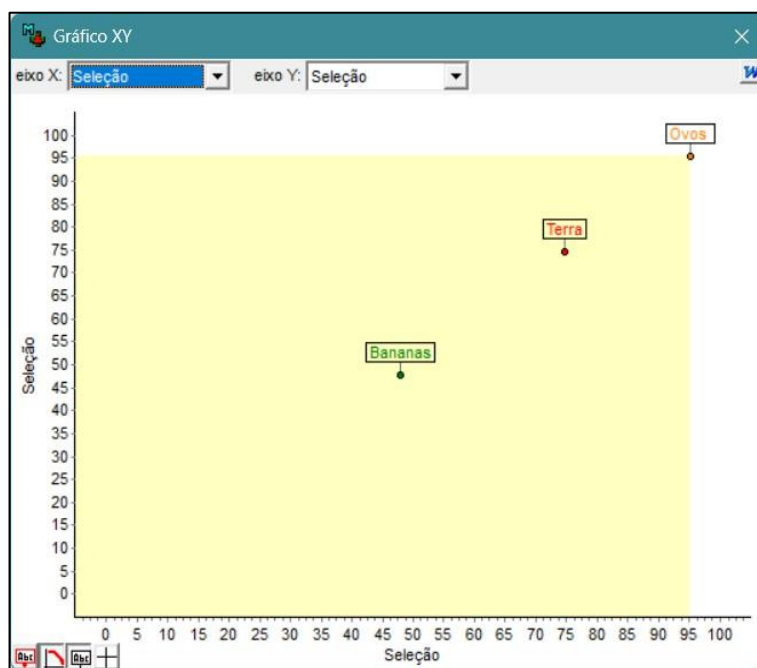
| | Nº de Raquetes | Largura | Custos | Altura | Quantidade | Coloração | [tudo inf.] |
|----------------|----------------|---------------|---------------|------------------|-------------------|----------------|-------------------|
| Nº de Raquetes | Nula 0,00 | Fraca 1,64 | Fraca 3,28 | Moderada 7,38 | Moderada 11,47 | Forte 23,77 | Positiva 24,59 |
| Largura | | Nula 0,00 | Fraca 1,64 | Moderada 5,74 | Moderada 9,83 | Forte 22,13 | Positiva 22,95 |
| Custos | | | Nula 0,00 | Moderada 4,10 | Moderada 8,19 | Forte 20,49 | Positiva 21,31 |
| Altura | | | | Nula 0,00 | Moderada 4,09 | Forte 16,39 | Positiva 17,21 |
| Quantidade | | | | | Nula 0,00 | Forte 12,30 | Positiva 13,12 |
| Coloração | | | | | | Nula 0,00 | Positiva 0,82 |
| [tudo inf.] | | | | | | | Nula 0,00 |

Fonte: Autores (2025)

4.2. Discussões

Em virtude das informações, a aplicação dos métodos multicritérios apresentou a opção de adubo que melhor se adequa à nutrição das mudas de palma. Dessa forma, foi possível analisar e discutir os resultados fornecidos, o que influenciou na escolha final. A Figura 5 demonstra o gráfico final resultante da aplicação do método.

Figura 5 – Gráfico de decisão



Fonte: Autores (2025)

A verificação dos resultados revela que a nutrição por meio de cascas de banana (47,84 pontos) e a de terra adubada (74,65 pontos) apresentaram pontuações globais inferiores à nutrição com cascas de ovos, que alcançou o maior valor, com 95,31 pontos no gráfico. Estas informações indicam que a nutrição adequada para o desenvolvimento das plantas é à base de cascas de ovos, uma vez que atendeu aos critérios estabelecidos neste trabalho e apresentou melhores pontuações (Tabela 4).

Tabela 4 – Resultado da pontuação global

| Opções | Global | Custos | Quantidade | Largura | Altura | Coloração | Nº de Raquetes |
|-------------|--------|--------|------------|---------|--------|-----------|----------------|
| Ovos | 95,31 | 110,00 | 60,00 | 98,20 | 90,00 | 75,00 | 103,10 |
| Bananas | 47,84 | 0,00 | 15,00 | 45,00 | 71,55 | 25,00 | 93,65 |
| Terra | 74,65 | 66,00 | 15,00 | 94,70 | 75,00 | 75,00 | 95,00 |
| [tudo sup.] | 110,00 | 110,00 | 110,00 | 110,00 | 110,00 | 110,00 | 110,00 |
| [tudo inf.] | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Pesos: | | 0,2131 | 0,1312 | 0,2295 | 0,1721 | 0,0082 | 0,2459 |

Fonte: Aplicação no M-Macbeth (2025)

Neste contexto, ao avaliar os resultados, pode-se concluir que a nutrição com cascas de banana não se mostrou vantajosa para o experimento, alcançando um desempenho inferior às opções de terra adubada e cascas de ovos. Estas últimas não apresentaram uma diferença discrepante entre si. Assim, pode-se deduzir que alguns fatores, como a aquisição a custo zero das cascas de ovos, podem ter influenciado na pontuação final. Dessa forma, uma nova realização do experimento poderia ser feita com o produto sendo adquirido por meio de compra, o que poderia resultar em valores de pontuação até mais próximos entre as duas opções. No entanto, este não é o único fator a ser levado em consideração, uma vez que as cascas de ovos possuem nutrientes mais benéficos para as plantas.

De acordo com essas informações, é possível destacar alguns fatores acerca das ferramentas utilizadas. Com relação ao M-Macbeth, o propósito da ferramenta não é ditar uma solução ótima, mas facilitar o processo de aprendizagem sobre o problema e as alternativas, permitindo que as pessoas pensem sobre seus valores e preferências de vários pontos de vista, o que só pode ser alcançado por meio de um processo de pensamento introspectivo (BANA; COSTA, 2004). Com relação à aplicação do método AHP, isso significa que, ao se tratar de um problema que exige determinada complexidade, torna-se mais fácil dividi-lo em problemas menores, para que, quando solucionados de forma individual, possam representar a decisão final do problema inicial.

Neste contexto, demonstra-se a importância da criação de níveis de hierarquia para os parâmetros, representados na árvore de decisão (Figura 4) deste trabalho. Essa abstração pode tomar várias formas inter-relacionadas, descendentes de um objetivo geral, abrindo-se em objetivos secundários, desmembrando-se nas forças influentes e até nos tomadores de decisão que influenciam essas forças.

Nesta pesquisa, ambos os métodos foram determinantes no desenvolvimento da metodologia. Em casos de incertezas durante o processo, os métodos mostraram-se bastante úteis, pois auxiliaram os decisores para tomar decisões necessárias que implicariam na escolha do tipo de adubo. Contudo, é importante também fazer uma análise de comparação entre o grau de consistência de ambos os métodos, no caso do AHP, que permite uma tolerância máxima de 10% no seu grau de inconsistência, fazendo com que haja uma certa limitação dos resultados e desconfiança dos usuários, mas para Grandzol (2005), o método de Saaty envolve comparações redundantes para melhorar a validade destas. Adverte-se que a tolerância a inconsistências não é uma limitação, mas um retrato da realidade. Com relação ao M-Macbeth, o método não possibilita a presença de inconsistências nos julgamentos, tornando-o mais seguro para os decisores que o utilizam. Além disso, possibilita ao usuário verificar quais julgamentos estão

em revisão e recomenda, caso necessário, a modificação deles para a obtenção de melhores resultados. Desse modo, é possível destacar que o método AHP é bastante útil para soluções simples diante de conceitos menos complexos apresentados nesta pesquisa.

Adverte-se que a tolerância a inconsistências não é uma limitação, mas um retrato da realidade. Com relação ao M-Macbeth, o método não possibilita a presença de inconsistências nos julgamentos, tornando-o mais seguro para os decisores que o utilizam. Além disso, possibilita ao usuário verificar quais julgamentos estão em revisão e recomenda, caso necessário, a modificação deles para a obtenção de melhores resultados. Desse modo, é possível destacar que o método AHP é bastante útil para soluções simples diante de conceitos menos complexos apresentados nesta pesquisa.

Por outro lado, o M-MACBETH, apresentou maior adequação diante do objetivo proposto, considerando a organização correta dos critérios, o uso de julgamentos qualitativos e impossibilitando inconsistências na tomada de decisão.

5. Conclusão

O presente trabalho teve como foco o estudo com relação apenas às mudas de Palma Forrageira, com o objetivo de definir o método de nutrição que mais se adequa ao desenvolvimento das plantas. Para concluir esse objetivo, foram escolhidos três tipos de adubagem orgânica, sendo compostas por terra adubada, cascas de ovos e cascas de banana, aplicadas ao solo em quantidades pré-definidas.

Neste sentido, dois métodos multicritérios foram utilizados, o AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e o software M-Macbeth que auxiliaram na escolha do nutriente, com base na definição de critérios e subcritérios como desempenho, custo de aquisição e eficiência, organizados em uma estrutura hierárquica de importância. Após essa etapa, foram feitas análises dos resultados adquiridos, onde a nutrição por meio de cascas de banana e de terra adubada apresentaram um desempenho menor com relação à nutrição de cascas de ovos. Estas informações, com base nos critérios estabelecidos indicaram que a nutrição com cascas de banana (47,84 pontos) não é viável para o experimento. Em contrapartida, a nutrição à base de cascas de ovos (95,31 pontos) destacou-se como a mais adequada para o desenvolvimento das plantas, superando também a terra adubada (74,65 pontos).

Assim, concluiu-se que os três métodos ajudaram no decorrer dos processos, permitindo aos decisores obter uma resposta rápida e reduzindo o grau de incertezas quanto à escolha. Destaca-se também que o método AHP é bastante útil para soluções menos complexas, e que o uso do M-MACBETH neste estudo, forneceu a organização correta dos critérios, o uso de julgamentos qualitativos e não permitiu a inconsistência na tomada de decisão.

REFERÊNCIAS

ABOAGYE, G. et al. **Protocols for assessing antibacterial and water coagulation potential of Moringa oleifera seed powder.** *MethodsX*, v. 8, p. e101283, 2021.

BANA E COSTA, C. A.; CHAGAS, M. P. **A career choice problem: An example of how to use MACBETH to build a quantitative value model based on qualitative value judgments.** "European journal of operational research, v. 153, n. 2, p. 323-331, 2004."

BARRENA, R. et al. **Respirometric screening of several types of manure and mixtures intended for composting.** ("Pig slurry composting as a nitrogen source in proso millet crop") ("MEDLINE Abstract - Medscape Drugs & Diseases") *Bioresource Technology*. v.102, n.2, p. 1367-1377, 2011.

CHAVES, M. C. C.; RAMOS, T. G.; BARROS, T. D.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B. **Uso integrado de dois métodos de apoio à decisão multicritério: VIP Analysis e MACBETH. Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento,** Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, p. 89-99, maio-ago. 2010.

CONTRERAS-PADILHA, M. et al. **Evaluation of oxalates and calcium in nopal pads (*Opuntia ficus-indica* var. *redonda*) at different maturity stages.** *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 24, n.1, p. 38-43, 2011.

FERRAZ, Renner Luciano de Souza; COSTA, Patrícia da Silva; ANJOS, Franklin Alves dos; CAMPOS, Amanda Costa; BARRETO, Newcéia Paiva. **Palma forrageira para biorremediação de águas contaminadas: possibilidades para o semiárido.** In: **WORKSHOP INTERNACIONAL ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.** Anais... [S.l.: s.n., 2018?].

GODLEWSKA, P.; SCHMIDT, H.P.; OK, Y.S.; OLESZCZUK, P. **Biochar for composting improvement and contaminants reduction.** *Bioresource Technology*, n. 246, p. 193–202, 2017.

GRANDZOL, John R. **Improving the Faculty Selection Process in Higher Education: A Case for the Analytic Hierarchy Process.** Bloomsburg University of Pennsylvania. *IR Applications*, v. 6, August 24, 2005.

LEITE, M.L.V. **Palma Forrageira (*Opuntia ficus indica* e *Nopalea cochenillifera*).** Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Centro de Ciências Agrárias – CCA, Grupo de Pesquisa Lavoura Xerófila – GPLX, Areia: Jul,2006.

MARINS, C. S.; SOUZA, D. O.; BARROS, M. S. **O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais – um estudo de caso.** Anais. XLI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Porto Seguro – BA: SOBRAPO, 2009. 11 p.

PORTO, M.L. **Produção, estado nutricional e acúmulo de nitrato em plantas de alface submetidas à adubação nitrogenada e orgânica.** ("RESPOSTA DA ALFACE AMERICANA LUCY BROWN EM

DIFERENTES ... - ResearchGate”) Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-graduação em Agronomia Campus II, Universidade Federal da Paraíba, Areia-Pb, 2006.

ROSA, A. V.; ORDÓÑEZ, J. C. Introduction. IN: ROSA, A. V.; ORDÓÑEZ, J. C. (Eds.). **Fundamentals of Renewable Energy Processes (Fourth edition)**. Academic Press, 2022. 1-46p.

SAATY, T. L. (1991), “**Método de Análise Hierárquica**”, Tradução de Wainer da Silveira e Silva, McGraw-Hill, Makron, São Paulo, SP.

SAATY, T.L. **Decision making with the analytic hierarchy process. International Journal of Services Sciences**, v. 1, 2008.

SCHMIDT, A. M. A. **Processo de apoio à tomada de decisão: AHP e Macbeth**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 1995.

SCHULTZ, R.A. **Introdução ao estudo da botânica sistemática**. 2 ed. Porto Alegre: Livraria O Globo, 1943. 562p.

SHEN, Y.; CHEN, T.; GAO, D.; ZHENG, G.; LIU, H.; YANG, Q. **Online monitoring of volatile organic compound production**. *Bioresource Technology*. n. 123, p. 463-470, 2012.

