



Recebido em: 06/05/2024.

Aceito em: 22/06/2024.

Revista SODEBRAS – Volume 19
Nº 221 – MAIO/ AGOSTO - 2024

DESENVOLVIMENTO REGIONAL: APLICAÇÃO DO AHP PARA SELEÇÃO DO TIPO DE CANA-DE-AÇÚCAR

REGIONAL DEVELOPMENT: APPLICATION OF AHP FOR SELECTING THE TYPE OF SUGAR CANE

Wellington Gonçalves¹
Rodrigo Ribeiro de Oliveira²
Fernando Nascimento Zatta³
Aliomar Lino Mattos⁴

Resumo – A escolha da melhor variedade de cana-de-açúcar para plantio é resultante de uma análise de diversos atributos que objetivam elevar a produtividade e vantagens competitivas no setor sucroalcooleiro. De acordo com essa visão, esse trabalho apresenta uma proposta de abordagem que auxilia na tomada de decisões sobre qual tipo de cana-de-açúcar pode ser utilizado consoante com as características locais presentes numa localidade, utilizando para tanto o Analytic Hierarchy Process (AHP). Embora existam outros trabalhos na área, verificou-se escassez de trabalhos específicos que considerem particularidades regionais. Assim, a utilização de um método multicritério para ajudar na tomada de decisão sobre a variedade de cana-de-açúcar mais adequada para plantio em um determinado local foi o objetivo deste estudo. Usando como caminho investigativo uma abordagem metodológica adaptável a diferentes realidades, o trabalho mapeia importantes atributos para o plantio de cana-de-açúcar sugeridos pela literatura. Os resultados sugerem que, conforme com as condições regionais, a produção deve ter por base culturas que tenham Resistência a pragas e doenças, as quais tendem apresentar a produtividade e retorno que se espera.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Planejamento da colheita. Analytic Hierarchy Process.

Abstract – The choice of the best sugarcane variety for planting is the result of an analysis of various attributes aimed at increasing productivity and competitive advantages in the sugar-alcohol sector. In line with this vision, this work presents a proposal for an approach that helps make decisions about which type of sugar cane can be used according to the local characteristics present in a location, using the Analytic Hierarchy Process (AHP). Although there are other studies in the area, there is a lack of specific studies that consider regional

¹ Doutor em Engenharia de Produção (UNIMEP/Santa Bárbara D'Oeste-SP); Docente da Universidade Federal do Espírito Santo-ES; ORCID: 0000-0002-7106-3637; Contato: wellington.goncalves@ufes.br.

² Doutor em Engenharia de Produção (UNIMEP); Docente do Instituto Federal de São Paulo-SP; ORCID: 0000-0002-1006-6500; Contato rodrigo.oliveira@ifsp.edu.br.

³ Doutor em Engenharia de Produção (UNIMEP/Santa Bárbara D'Oeste-SP); Docente da Universidade Presbiteriana Mackenzie-SP; ORCID: 0000-0001-5571-0673; Contato: zatta@hmzconsulting.com.br.

⁴ Doutor em Engenharia de Produção (UNIMEP/Santa Bárbara D'Oeste-SP); Docente da Universidade Federal do Espírito Santo-ES; ORCID: 0000-0001-9349-676X. Contato: aliomar.mattos@ufes.br.

particularities. The aim of this study was therefore to use a multi-criteria method to help make a decision on the most suitable sugar cane variety to plant in a given location. Using a methodological approach that can be adapted to different realities as an investigative path, the work maps out important attributes for planting sugar cane that are suggested in the literature. The results suggest that, according to regional conditions, production should be based on crops that are resistant to pests and diseases, which tend to have the productivity and return that is expected.

Keywords: Sustainability. Harvest planning. Analytic Hierarchy Process.

I. INTRODUÇÃO

A cana de açúcar é um biocombustível significativo que pode ser uma solução viável a curto e médio prazo para a produção de energia e à poluição do planeta (Lima *et al.*, 2024). Assim, em função do preço do petróleo, de sua perspectiva de escassez, e da necessidade da redução de emissões de gases que prejudicam o meio ambiente, novas matrizes energéticas vêm sendo buscadas (Silverio, 2021).

O etanol, um biocombustível feito de cana-de-açúcar, é usado em motores de combustão no Brasil. A experiência do país na produção de cana-de-açúcar, que remonta aos engenhos no século XVI até a década de 1970, quando foi lançado o Programa Pró-álcool (Alves *et al.*, 2021), pode explicar essa utilização.

A produção de cana-de-açúcar no Brasil superou a série histórica de 713,2 milhões de toneladas no ciclo 2023/2024. Isso representa um aumento de 16,8% em relação ao ciclo anterior, impulsionando o setor do agronegócio (Conab, 2024). As regiões Norte e Nordeste são responsáveis por 15% e 85% da produção brasileira, respectivamente (Silverio, 2021).

Diante deste cenário, é evidente a necessidade de encontrar soluções para garantir a competitividade e a qualidade dos produtos oferecidos no setor sucroalcooleiro (Schiavon *et al.*, 2023). Isso se deve ao potencial do setor e, à necessidade de enfrentar possíveis riscos de mercado, por meio da redução dos custos de produção – por exemplo (Silverio, 2021; Conab, 2024).

Devido às características distintas de cada variedade de cana-de-açúcar, o uso não razoável pode influenciar os produtos derivados, afetando o crescimento e a produtividade. De tal modo, conforme Lima *et al.* (2024), como o setor sucroalcooleiro está crescendo, soluções que integram vários pontos de vista são ferramentas necessárias para o avanço do setor.

Em tal situação, os métodos multicritério estão entre as estratégias de soluções de auxílio à tomada de decisão mais populares, por levarem em consideração uma variedade de fatores relacionados ao alcance da decisão (Panchal; Shrivastava, 2022). O *Analytic Hierarchy Process* (AHP) criado por Saaty (2008) com o intuito de congregiar opiniões para contribuir com as tomadas de decisão, tem sido amplamente utilizado na literatura por utilizar em sua formulação uma escala de nove pontos para realizar julgamentos paritários de atributos - fatores e subfatores (Kumar; Pant, 2023), que considera a percepção humana, quais seja em termos de opiniões, atitudes ou comportamentos (Schiavon *et al.*, 2023).

Este trabalho visa adaptar o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para a escolha da variedade de cana-de-açúcar mais adequada ao plantio em um dado local. A escolha dessa variedade contribui significativamente para o desenvolvimento sustentável do setor sucroalcooleiro. Portanto, devido a importância que possuem, os atributos que afetam esse tipo de decisão devem ser cuidadosamente estudados e priorizados de forma

sistemática. Para tanto, foi utilizada como unidade de pesquisa a região norte do Estado do Espírito Santo.

II. METODOLOGIA

A abordagem metodológica deste trabalho utilizou cinco fases em sua operacionalização, de acordo com Saaty (2008), Kumar e Pant (2023) e Schiavon *et al.* (2023), usando o AHP para auxiliar na seleção da variedade de cana-de-açúcar mais adequada para o plantio em um local específico, unindo opiniões de *stakeholders*. Para tanto, foram utilizadas como unidade de pesquisa quinze propriedades privadas, localizadas na região norte do Estado do Espírito Santo, que cultivavam cana-de-açúcar.

A primeira fase da abordagem foi constituída pelo estabelecimento dos parâmetros (fatores e subfatores) de escolha das alternativas de cana-de-açúcar para plantio, selecionados por atenderem exigências regionais, como alta produtividade agrícola, alto teor de sacarose e adequação ao solo, clima e ao período de safra mais propício da espécie (Saaty, 2008; Panchal; Shrivastava, 2022; Santoyo-Castelazo *et al.*, 2023).

Posteriormente, em conformidade com Lima *et al.* (2024), foram nomeados atributos significativos para plantio de cana-de-açúcar relacionados a produtividade sob aspectos técnicos e interferência ambiental (segunda fase). Da forma, atributos intrínsecos aos fatores abiótico (clima, solo, relevo, etc.) e biótico (espécie da planta apropriada, o combate às pragas, a época de colheita, etc.) vinculados à logística da empresa (Schiavon *et al.*, 2023), também foram designados.

Para a assinalação dos principais elementos que integram os atributos significativos para plantio, terceira fase, a partir de Kumar e Pant (2023), foi realizado um levantamento *survey* junto a 5 experts conhecedores das técnicas de plantio e mercado, como forma de teste do instrumento de coleta de dados. Em seguida, após apontamentos de melhorias no *survey*, este foi submetido a apreciação de 30 *stakeholders* (gestor e proprietário de terra) da unidade de pesquisa, a fim de apontarem suas preferências quanto ao refinamento e a confirmação das variedades mais viáveis que poderão servir como alternativas para o plantio.

Com base nos julgamentos dos *stakeholders* um *framework* foi empregue na construção da estrutura hierárquica do AHP, de forma a unificar o objetivo, fatores, subfatores e alternativas (quarta fase), em sintonia com Saaty (2008) e, Panchal e Shrivastava (2022).

Depois de estabelecida a hierarquia, a quinta fase foi realizada com o emprego do software *Expert Choice Trial*, que utilizando os dados obtidos, calculou a árvore de decisão do AHP, por meio dos pesos relativos a cada variedade do produto (Baloch *et al.*, 2021). Nesta conjuntura, esses pesos relativos foram obtidos após a análise e verificação de inconsistências nos julgamentos, que após averiguação, levaram a priorização das alternativas (Saaty, 2008; Schiavon *et al.*, 2023).

III. RESULTADOS

A partir das condições regionais e mudanças climáticas para plantio de cana no sistema de ano e meio, é realizada a colheita no período chamado de fim de safra na região norte do Estado do Espírito Santo. Neste contexto, as condições de decisão deste trabalho foram – Primeira (período da colheita: Fim de safra; Tipo de solo: Arenoso; Irrigação Área irrigada e Topografia: Baixada); Segunda (Fim de safra; Médio; Área não irrigada e Baixada) e Terceira (Fim de safra; Médio; Área não irrigada e Tabuleiro), sendo tais condições baseadas em Carvajal (2021) e Lima *et al.* (2024).

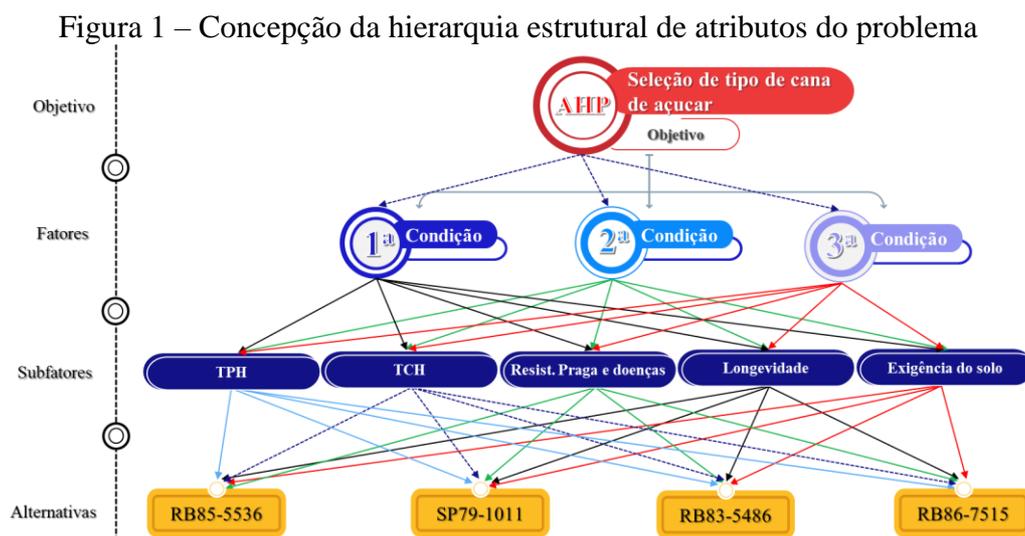
Para selecionar o tipo de variedade ideal em determinado ambiente foi preciso considerar fatores relacionados ao clima, solo, declividade do terreno, irrigação, forma de colheita e ataque de pragas e doenças, por refletirem nos custos de produção, qualidade do produto e rendimento (Incaper, 2015; Santoyo-Castelazo *et al.*, 2023).

Desta forma, por meio de consulta técnica a especialistas do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural - INCAPER (Incaper, 2015) foram definidos os seguintes tipos de cana-de-açúcar: RB85-5536, SP79-1011, RB83-5486 e RB86-7515, os quais foram adotados como alternativas para auxílio à tomada de decisão (primeira fase).

Deste modo, conforme Carvajal (2021) e Schiavon *et al.* (2023), atributos significativos para plantio foram selecionados a partir de um levantamento *survey* aplicado aos gerentes (geral e agrícola) e colaboradores da empresa, segunda fase, dispostos em fatores (condições 1, 2 e 3) e subfatores (TPH - Toneladas de Pol por Hectares: teor de sacarose aparente na cana; TCH - Toneladas de Cana por Hectare: índice de produtividade na área plantada; Resistência a pragas e doenças: nível de tolerância a doenças e pragas no desenvolvimento; Longevidade: tempo que a cana demora a atingir a fase de corte e Exigência do solo: nível de exigência em fertilidade do solo).

Após a definição dos atributos significativos, contato com o auxílio de experts, foram confirmadas as variedades de cana-de-açúcar RB85-5536; SP79-1011; RB83-5486 e RB86-7515, que após realizarem uma análise dos dados obtidos, legitimaram a escolha feita anteriormente (terceira fase).

Logo após, foi construída a estrutura hierárquica do AHP a partir dos fatores, subfatores e alternativas anteriormente definidos (Figura 1). Assim, o nível superior desta estrutura mostra que a seleção do tipo de cana de açúcar foi o objetivo principal da análise, quarta fase, em concordância com Saaty (2008) e Panchal e Shrivastava (2022), sendo definidos a partir deste, os níveis do processo decisório, assim como, a decomposição em níveis hierárquicos.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Em seguida, iniciou-se a operacionalização do método AHP por meio da utilização do software *Expert Choice Trial* como ferramenta (quinta fase). Desta maneira, os julgamentos paritários dos gerentes e colaboradores foram alocados na estrutura hierárquica, a qual também foi inserida nesse software.

Os resultados retornaram uma similaridade das três condições simuladas, em que estas têm o mesmo grau de importância (33,33%). Ao verificar as condições foi notado que todas condições possuem o mesmo grau de importância (33,33%), e que considerando as condições como um todo, a variedade que apresenta maior grau de importância e aplicabilidade é a alternativa RB83-5486 com 63,1% de aceitação. Esse resultado ocorre principalmente devido ao bom desempenho dessa variedade nas condições 2 e 3, sugerindo que, essa alternativa apresenta desempenho satisfatório em tipos de solo médio e em áreas não-irrigadas, algo que é corroborado por Lima *et al.* (2024). De forma contrária, pode-se observar que a variedade SP79-1011 que antes apresentou excelente resultado na condição 1, tem um decréscimo considerável nas condições 2 e 3 devido às mudanças de tipo de solo e de áreas de irrigação presentes nessas condições e, que está congruente com o que apontar Santoyo-Castelazo *et al.* (2023).

Os resultados ressaltam que, analisadas as comparações paritárias entre cada uma das variedades de acordo com seu desempenho nas três condições estudadas, há diferenças numéricas que sugerem não somente a variedade mais adequada, mas, importantes reflexões sobre os diversos usos. Este contexto observado está alinhado a Panchal e Shrivastava (2022) que, em seu trabalho demonstra a variabilidade e uso do AHP, com isso, é possível aferir que a operacionalização relativamente simples desse método pode apoiar a seleção da melhor variedade de cana-de-açúcar para se plantar.

Outra aplicação prática que também pode ser obtida a partir da abordagem proposta é a apreciação sobre a adequada seleção da variedade de cana. Essa possibilidade de apreciação é observada na operacionalização do AHP (Saaty, 2008) que, ao realizar as comparações evidencia a variedade RB diante das demais nas condições 2 e 3, e sua inferioridade na condição 1 (RB83-5486 com 33,1% de aceitação, SP79-1011 com 28,2%, RB86-7515 com 22,6% e RB85-5536 com 16,1%).

Esse resultado auxilia na tomada de decisão de modo que a melhor alternativa seria a plantação da variedade RB83-5486, gerando maior qualidade de produtividade para seus produtores consoante as condições possíveis de fim de ano. Algo que é corroborado por INCAPER (Incaper, 2015) e Carvajal (2021) que indicam ser essa variedade uma das variedades indicadas para plantio na região Norte do Estado do Espírito Santo.

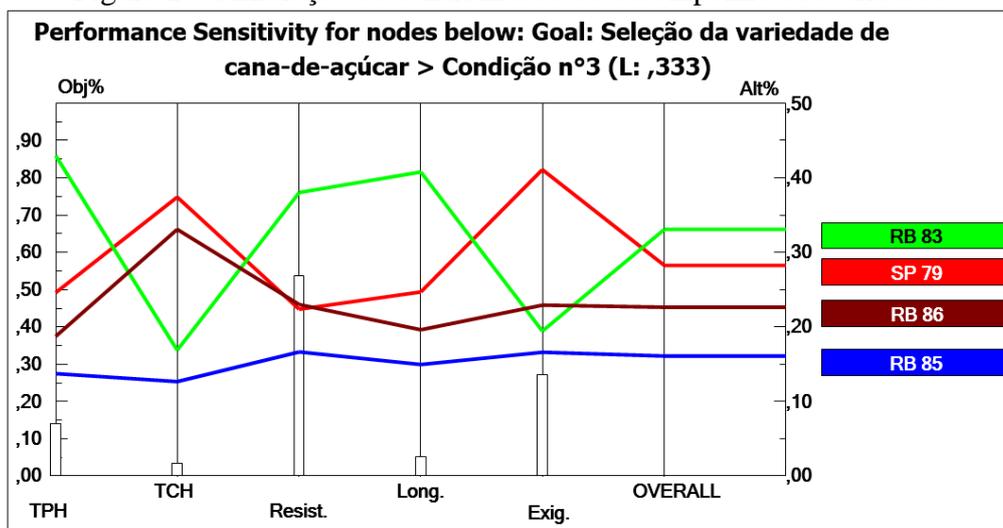
Por outro, durante a realização de levantamento *survey* foi evidenciado por intermédio dos respondentes que a topografia mais comum encontrada na região é a de tabuleiro, sendo esta a mais comum encontrada na realidade vivida pelos produtores de cana-de-açúcar do Norte do Espírito Santo.

Em conformidade com a Figura 1, que serve como elemento de apoio à tomada de decisão e as interações entre julgamentos de atributos, a condição 3 representa a característica topográfica de tabuleiro. Além disso, avaliando os julgamentos paritários com os dados obtidos sob essa condição, é possível verificar algumas especificidades (Figura 2).

Os pesos de cada dos fatores se comportam de maneira diferente em comparação com as condições 1 e 2, sendo a resistência a pragas e doenças o mais importante deles. Percebe-se também a existência de uma superioridade numérica da variedade RB83-5486, diante das outras variedades no resultado final. Porém, vale destacar que essa variedade não se sobressai entre todos os fatores, apresentando baixa representatividade nos fatores de TCH (toneladas de cana por hectare) e Exigência do solo, não interferindo no resultado final, devido esses fatores apresentarem baixa representatividade, 2,7% e 4,4% respectivamente. É importante salientar que a variedade SP79-1011, apresenta uma conformidade em seus resultados, sendo uma boa

opção para qualquer um dos fatores em questão, embora essa não seja a opção com maior grau de significância no final da simulação.

Figura 2 – Simulação da sensibilidade de desempenho dos atributos



Legenda: Resistência a pragas e a doenças – Resist. Longevidade – Long. Exigência do solo – Exig.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Outro importante aspecto evidenciado está na comparação realizada entre as variedades RB83-5486 com a SP79-1011 (Figura 3), em que fica evidente a superioridade da variedade RB no fator mais importante deste trabalho, a Resistência a pragas, porém também é possível perceber que o restante dos parâmetros apresentou pouca preferência a variedade RB, se tornando quase que iguais, com exceção a Exigência de Solo, que a superioridade da variedade SP é visivelmente maior.

Figura 3 – Síntese do resultado final da prioridade julgamentos



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Em resumo, embora a variedade RB83-5486 apresente os índices de aceitação mais altos na Condição 3, pode não ser a melhor variedade de cana-de-açúcar para plantio na área. A Figura 3 mostra esse resultado, mas é importante observar as mudanças operacionais e técnicas que podem ocorrer como resultado de uma ou mais variáveis. Os resultados encontrados para a variedade SP79-1011 são comparáveis, o que significa que essa variedade pode ser levada a uma condição de forte concorrente (principalmente no caso de uma mudança de cenário).

Outro aspecto que oferece uma vantagem a escolha da variedade SP79-1011, em detrimento da RB83-5486, é que a variedade RB apresenta baixíssimo índice de TCH,

sendo quase uma das últimas opções nesse fator, deste modo, se houver uma procura maior por aumento da produtividade por hectare plantado, a SP será uma melhor opção.

Nesse trabalho, a Resistência a pragas e doenças, surgiu com elevado grau de importância entre os fatores, devido esse fator ser um problema enfrentado em larga escala no Estado do Espírito Santo. Logo, esse fator pode ser considerado como determinante para escolha da variedade RB83-5486, sendo eleita a mais propícia para a região, porém, caso haja um maior investimento no controle dessas pragas e doenças, a variedade SP79-1011 apareceria novamente como uma boa alternativa de escolha.

Por fim, conclui-se que, tanto a variedade RB83-5486 como a SP79-1011 têm condições de serem implementadas no extremo norte do Espírito Santo, apresentando ampla produtividade e retorno para seus produtores. Sendo assim, caso os objetivos sejam na busca por uma variedade que apresenta elevado índice de sacarose, resistência a pragas e doenças e longevidade, a alternativa RB83-5486 seria a mais indicada. Porém, caso haja uma procura por uma variedade que se comporte de maneira estável, com resultados razoáveis em todos fatores apresentados, e onde a resistência a pragas e doenças não seja um fator determinante, a variedade SP79-1011 seria a mais indicada.

IV. CONCLUSÃO

A expansão da economia brasileira, em parte, depende da indústria açucareira. Portanto, a execução de operações eficientes pode ajudar a diminuir ou reduzir desperdícios, aumentando o desempenho do setor. Este trabalho apoia diretamente iniciativas sustentáveis por contribuir para a eficiência produtiva e, para um desenvolvimento regional contínuo, sustentável e responsável. Por este motivo, o foco principal deste trabalho foi o risco técnico, que se desdobra em aspectos econômicos, sociais e ambientais.

Resistência a pragas e doenças, exigência de solo e longevidade foram alguns dos critérios que desempenharam um papel muito importante na determinação dos tipos de plantações de cana-de-açúcar mais adequados às condições estudadas, e possíveis soluções. Vale ressaltar que, a abordagem proposta pode ser adaptada a diferentes contextos e situações, podendo ser utilizados tanto um número mais elevado de critérios, quanto a realização de comparações territoriais que embasam distintas tomadas de decisão.

Outra importante implicação deste trabalho está na questão política, a qual passa a contar com uma ferramenta para análise de expansão das plantações de cana-de-açúcar na região. Sob outro aspecto, a abordagem proposta coopera para o atingimento da autossuficiência nacional em cana de açúcar e seus derivados, por possibilitar condições iniciais para a elaboração de um plano de expansão alinhado a possíveis resultados.

A abordagem apresentada neste trabalho também tem um impacto direto no planejamento e na gestão do plantio e colheita de cana-de-açúcar, para agricultores e empresas canavieiras em todo o mundo. Assim, essa abordagem pode auxiliar em decisões do setor sucroalcooleiro, bem como estudantes e pesquisadores na ampliação do conhecimento, além de gestores públicos que passam a ter uma importante ferramenta para direcionamentos de investimentos e ações.

No entanto, para confirmar os resultados, são necessários mais estudos em variadas agroecologias e épocas, bem como variedades adicionais de cana-de-açúcar.

V. REFERÊNCIAS

ALVES, L. Q.; FRANCO, P. N.; ZANETTI, W. A. L.; GÓES, B. C. Desempenho da

produção da cultura de cana-de-açúcar nos principais estados produtores. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 15, n. 2, p. 303-317, 2021.

BALOCH, Z. A.; TAN, Q.; KAMRAN, H. W.; NAWAZ, M. A.; ALBASHAR, G.; HAMEED, J. A multi-perspective assessment approach of renewable energy production: policy perspective analysis. **Environment, Development and Sustainability**, v. 24, p. 2164–2192, 2021.

CARVAJAL, L. N. V. **Características agrônômicas de cana-de-açúcar: origem das gemas, variedades e adubação**. 2021. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Safra Brasileira de Cana-de-açúcar**. Brasília: CONAB, 2024. Disponível em <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>. Acesso em: 14 mai. 2024.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL (INCAPER). **Cana-de-açúcar + Uréia**. Vitória: INCAPER, 2015. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/938/1/Folder-digital-web-Cana-de-Acucar-Ureia.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2023.

KUMAR, A.; PANT, S. Analytical hierarchy process for sustainable agriculture: An overview. **MethodsX**, v. 10, p. 101954, 2023.

LIMA, R. R. F.; SOUSA, I. F.; CASTRO TEIXEIRA, A. H.; VILLWOCK, A. P. S. Socio-Environmental Overview of The Main Sugarcane Producing Municipalities in Sergipe Between the Years of 2001 and 2022. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 18, n. 3, p. e04787, 2024.

PANCHAL, S.; SHRIVASTAVA, A. K. Landslide hazard assessment using analytic hierarchy process (AHP): A case study of National Highway 5 in India. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 13, n. 3, p. 101626, 2022.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International journal of services sciences**, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

SANTOYO-CASTELAZO, E.; SANTOYO, E.; ZURITA-GARCÍA, L.; LUENGAS, D. C.; SOLANO-OLIVARES, K. Life cycle assessment of bioethanol production from sugarcane bagasse using a gasification conversion Process: Bibliometric analysis, systematic literature review and a case study. **Applied Thermal Engineering**, v. 219, p. 119414, 2023.

SCHIAVON, L. L.; LIMA, P. A.; CREPALDI, A. F.; MARIANO, E. B. Use of the Analytic Hierarchy Process Method in the Variety Selection Process for Sugarcane Planting. **Eng**, v. 4, n. 1, p. 602-614, 2023.

SILVERIO, M. S. **Processos biotecnológicos para aplicação de vinhaça no conceito de biorrefinaria para o setor sucroenergético**. 2021. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2021.

VI. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.