

## Tendências de custos com insumos na produção de cana-de-açúcar: uma abordagem através da Simulação de Monte Carlo

### *Cost trends with inputs in sugarcane production: an approach through Monte Carlo Simulation*

Fernando Rodrigues de Amorim<sup>1</sup>, Saulo André Silva<sup>2</sup>, Fabio Roberto Izepe<sup>3</sup>

**RESUMO:** O Brasil é um dos principais players na produção de cana-de-açúcar, sendo o estado de São Paulo o maior produtor brasileiro. No entanto, os custos de produção dos insumos (fertilizantes, corretivo, inseticida, fungicida e herbicida) são alguns dos fatores que mais influenciam no custo total de produção. Há, na literatura, uma extensa quantidade de estudos focados nos custos de produção da cana-de-açúcar. No entanto, há uma lacuna em mostrar o impacto dos custos e sua tendência para o futuro próximo. Este trabalho foi realizado com o objetivo de analisar a tendência dos insumos citados. Foram realizadas projeções dos cenários para um período de 12 meses. Esses valores foram coletados mensalmente, por meio de entrevistas diretas, com cerca de 50 empresas especializadas. O método utilizado foi quantitativo, sendo realizado por meio de Simulação de Monte Carlo (SMC). Modelos matemáticos baseados em séries temporais foram utilizados como forma de fazer a previsão: Double Moving Average, (MMD); Tendência Amortecida Não Sazonal, (TANS); Suavização Exponencial Simples, (SES); Suavização Exponencial Dupla (SED) e ARIMA. Os resultados mostraram que os inseticidas Thiamethoxam e Limestone estão em tendência de alta. As demais entradas, indicaram o contrário. No entanto, a previsão é alta para o custo total neste período, sendo que os custos com fertilizantes formulados representam 82% do custo total/tonelada de cana-de-açúcar a \$0,55, segundo levantamento de 76 % de nível de probabilidade realizado através da análise de frequência cumulativa SMC.

**PALAVRAS-CHAVE:** Séries Temporais; Setor Sucroenergético; Frequência Cumulativa; Modelagem Estocástica; Energias Renováveis.

**ABSTRACT:** Brazil is one of the main players in sugarcane production, with the state of São Paulo being the largest producer in the country. However, the production costs of inputs (fertilizers, corrective, insecticide, fungicide and herbicide) are some of the factors that most influence the total cost of production. In the literature, there is an extensive number of studies focused on the costs of sugarcane production. However, there is a gap in showing the cost impact and its trend for the near future. This work was carried out with the aim of analyzing the trend of the aforementioned inputs. Scenario projections were carried out for a period of 12 months. These values were collected monthly, through direct interviews, with around 50 specialized companies. The method used was quantitative, being carried out using Monte Carlo Simulation (SMC). Mathematical models based on time series were used to make the forecast: Double Moving Average, (MMD); Non-Seasonal Damped Trend, (TANS); Simple Exponential Smoothing, (SES); Double Exponential Smoothing (SED) and ARIMA. The results showed that the insecticides Thiamethoxam and Limestone are on an upward trend. The other entries indicated the opposite. However, the forecast is high for the total cost in this period, with the costs of formulated fertilizers representing 82% of the total cost/ton of sugar cane at US\$ 0.55, according to a survey of 76% of the level of probability carried out through SMC cumulative frequency analysis.

**KEYWORDS:** Time Series; Sugar-Energy Sector; Cumulative Frequency; Stochastic modeling; Renewable Energy.

**Autor correspondente:** Fernando Rodrigues Amorim  
E-mail: fernandorodriguesdeamorim@yahoo.com.br

Recebido em: 2022-06-29  
Aceito em: 2024-07-08

<sup>1</sup> Doutor em Engenharia Agrícola, docente do Centro Paula Souza - FATEC, Sertãozinho/SP, Brasil.

<sup>2</sup> Graduado em Administração de empresas (FEA/USP), gerente da Caixa Econômica Federal, unidade Jaboticabal/SP, Brasil.

<sup>3</sup> Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Estadual Paulista, Docente do Instituto Federal de São Paulo campus São Carlos/SP.

## INTRODUÇÃO

No Brasil, a cana-de-açúcar (*Saccharum*) caracteriza-se como uma das culturas com maior potencial produtivo em função das condições climáticas ideais (Amorim *et al.*, 2019; Rossi *et al.*, 2020) pela sua característica de ciclo de produção longo, aproximadamente quatro ou cinco anos (Bigaton *et al.*, 2017).

Algumas características afetam o ciclo produtivo e a produtividade da cana-de-açúcar, tais como: tecnologia empregada, escolha da variedade, o melhoramento genético, o preparo do solo, as técnicas de plantio, o gerenciamento agrícola, controle de pragas e doenças, os tratos culturais, a colheita e a reforma do canavial e o clima (Bigaton *et al.*, 2017; Amorim *et al.*, 2019).

Nesse aspecto, o uso de insumos agrícolas como: corretivos (calcário e gesso), herbicidas, fungicidas e inseticidas, se tornaram essenciais para a produtividade dessa lavoura, nas etapas do plantio e nos tratos culturais (Bigaton *et al.*, 2017; Amorim *et al.*, 2019; Oliveira *et al.*, 2012).

Em seu trabalho Amorim *et al.* (2019) demonstram que alterações na escolha do tratamento dos insumos utilizados para a plantação da cana-de-açúcar podem melhorar a produtividade da colheita significativamente. Foram estudadas empresas do setor, de diferentes portes, e com utilização diferentes tecnologias e práticas de manejo, onde se observou que melhorias de produtividade poderiam percebidas com o emprego de determinadas tecnologias.

Os insumos supracitados corroboraram para a produtividade média de cana-de-açúcar de 76 toneladas/hectares em 2020 (Conab, 2020). Sendo que, quando da adoção do manejo correto (calagem, adubação e tratos culturais e irrigação) a produtividade pode alcançar índices superiores, chegando a 150 toneladas/hectare (Oliveira *et al.*, 2012) e ainda se destaca em termos de sustentabilidade<sup>4</sup>. No entanto, para realizar todas as etapas do plantio e dos tratos culturais supracitados, o produtor de cana-de-açúcar terá um custo relativamente alto: 40% do custo total da implantação (Bigaton, *et al.*, 2017). De acordo com autores supracitados, (Oliveira *et al.*, 2012) os maiores custos de produção de cana-de-açúcar em uma propriedade agrícola de tamanho médio são com os insumos, 46% do total dos custos.

Em dados mais recentes, a Confederação Nacional da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA, 2022) afirmou que o custo operacional efetivo (COE) da cana-de-açúcar produzida no Centro-Sul registrou alta de 46% em relação a 2021. No entanto, parte significativa desses custos deve-se à elevação do preço com os insumos, em especial os fertilizantes e defensivos agrícolas, sendo que os fertilizantes representaram cerca de 56% do custo com insumos para se produzir cana-de-açúcar.

Ademais, com esse aumento de custos os produtores necessitam de estratégias para se manter na atividade Amorim (2022). Uma delas é aumentar os ganhos efetivos de produtividade no campo, ainda que as próprias condições de rentabilidade se mostrem limitantes com os preços recebidos pela matéria prima.

Na obra de Amorim *et al.* (2019) pode-se observar diferenças na produtividade e sua correlação com determinados tipos de propriedade e diferentes formas de utilização de insumos. O trabalho auxilia a percepção da importância de se observar o comportamento (variação) dos custos destes insumos, que auxiliar na análise de melhorias com alterações na forma de repor os nutrientes necessários a cultura. No entanto, as soluções representadas pelo uso intensivo de recursos renováveis adotadas pela modernização agrícola trazem consigo prejuízos econômicos e ambientais, tais como a utilização de fertilizantes corretivos e defensivos, com o intuito de aumentar a produtividade/hectare quando utilizada o sistema de taxa fixa (aplicação de forma homogênea na área total).

A cultura da cana-de-açúcar corrobora de forma relevante para o desenvolvimento do país, mesmo sendo considerada uma *commodity*, pois a mesma tem como característica gerar energia limpa e renovável, substituindo parte da matriz energética global de origem fóssil (petróleo) (Farias *et al.*, 2009).

<sup>4</sup> Utiliza o termo sustentabilidade nos parâmetros social, ambiental e econômico, dentro de seu estudo sobre a otimização de sustentabilidade para a tomada de decisão da cadeia de fornecimento global (Bhinge *et al.*, 2015).

Sendo uma *commodity* é bastante difícil qualquer forma de diferenciação para o produto cana de açúcar. Segundo Williamson (1989), “de uma forma mais generalizada, a literatura identifica as *commodities* como mercadorias homogêneas, que são produzidas por vários produtores, em que oferta e demanda sofrem poucas alterações no curto prazo”.

Em seu trabalho, Martins (2018) evidencia, através de um estudo de caso, formas de se obter diferenciação em produtos como cana-de-açúcar. No estudo, são apontados e explicados os principais tipos de estratégias de vantagem competitiva. A obra ressalta a questão da diferenciação (ligada ao produto ou processo/serviço agregado). O resultado revela a importância de alguma diferenciação para que a empresa seja mais competitiva neste mercado. Relacionando este artigo com a obra de Bigaton *et al.* (2017) pode-se perceber as dificuldades de implementação de alguma diferenciação sem que os custos dos insumos afetem de forma proporcional do preço de fabricação do produto final. Entretanto, quando analisamos esta obra e a de Martins (2018), uma diferenciação no produto final está bastante ligada a outros aspectos: são alterações que envolvem serviços, imagem, pessoal, etc, não impactando os cálculos aqui processados.

Por outro lado, a parte ambiental do setor sucroenergético é um dilema, em especial, no meio acadêmico, pois alguns trabalhos indicam que as agroindústrias do setor sucroalcooleiro apresentam inúmeros riscos em relação aos impactos ambientais, que na grande maioria das vezes são ocasionados no setor de produção dessa cultura (Amorim *et al.*, 2018).

Na mesma linha de raciocínio, Amorim (2022); Martins (2017) as soluções representadas pelo uso intensivo de recursos renováveis adotadas pela modernização agrícola trazem consigo prejuízos econômicos e ambientais, tais como a utilização de fertilizantes corretivos e defensivos, com o intuito de aumentar a produtividade/hectare quando utilizada o sistema de taxa fixa (aplicação de forma homogênea na área total).

Buscando alternativas para diminuir o impacto negativo desses problemas no cenário interno e externo, e se manter de forma competitiva na atividade, algumas usinas e fornecedores de cana, estão buscando alternativas para se enquadrar, com novas estratégias de produção, como o bonsucro<sup>5</sup> (Amorim *et al.*, 2018).

Com base nestas premissas e afirmações, o desafio do setor sucroalcooleiro é satisfazer as necessidades do presente, sem comprometer a capacidade produtiva das futuras gerações e, conseqüentemente, a satisfação de suas necessidades. Portanto, a administração dos fatores de produção baseados no princípio da sustentabilidade deve levar em consideração a integração dos componentes econômico, social e ambiental como estratégia para alcançar a sustentabilidade (Amorim *et al.*, 2018).

Dessa forma, o processo decisório nesta etapa de produção ocorre sob condições de incertezas, o que requer dos tomadores de decisão ferramentas para melhor avaliar qual insumo utilizar e, ainda, o retorno financeiro dessa atividade.

Neste sentido a SMC se destaca como uma ferramenta relevante a ser empregada, no intuito de promover a mensuração das incertezas previamente identificadas na escolha dos insumos e pesticidas utilizados na produção de cana-de-açúcar.

Assim, a problemática desse artigo foi averiguar que não houve trabalhos que avaliassem a tendência dos custos de produção dos principais insumos da cana-de-açúcar, levando-se em consideração seu custo/tonelada (ton).

Nesse sentido, essas evidências justificam a necessidade de repensar estratégias para a redução de custos da produção dessa atividade, diminuindo o impacto ambiental pelo uso dos insumos e pesticidas utilizados. Portanto, objetivou-se neste trabalho analisar a tendência dos custos/tonelada com os insumos utilizados na produção da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo.

<sup>5</sup> É uma certificação de que fornecedores de cana-de-açúcar e toda a sua cadeia de suprimentos, das fazendas até a chegada do produto ao consumidor final estão em conformidades com os padrões exigidos para negócios sustentáveis.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa deste artigo teve uma abordagem exploratória descritiva. A pesquisa exploratória nos reporta informações suficientes para analisar uma relação explicativa entre um problema e seus fatores (Taddese, 2017), o que pode ser compreendido como uma forma de preparação para a pesquisa explicativa (Severino, 2007). Nesse caso: avaliar o valor dos preços dos insumos (fertilizantes, corretivos, inseticidas, fungicidas e herbicidas) para a produção de cana-de-açúcar.

Sob a abordagem descritiva, ela procura responder um problema real por meio de uma pesquisa, permitindo assim um esclarecimento maior dos fatos de um determinado assunto (Gil, 2009). Em outras palavras, a pesquisa descritiva evidencia as características de populações ou fenômenos que sejam alvos de estudo que estabelece correlações entre variáveis e determinar sua natureza (Vergara, 1998).

A abordagem da pesquisa é quantitativa e foi inerente ao valor dos fertilizantes: 04-20-20 500kg/ha/safra e 20-05-20 500kg/ha/safra; calcário dolomítico 1.000 kg/ha/safra; herbicidas: DIMETHYLAMMONIUM 806 BR (3.5 litros/ha/safra); Paraquate 200 (2 litros/ha/safra); fungicida: Trifloxistrobina; Tebuconazol (500 ml/ha) e Piraclostrobina (500ml/ha); inseticidas: Thiamethoxam (200 ml/ha) e Imidacloprido (400 ml/ha.). Esses valores foram os preços praticados nos pontos de venda, na cidade de São Paulo, sendo coletados mensalmente, por meio de entrevistas diretas com cerca de 50 firmas especializadas, utilizando-se formulários específicos para se obter as informações (IEA, 2021).

Também foram obtidos preços dos valores da tonelada da cana-de-açúcar (Udop, 2021), do custo com o preparo de solo (operadores, motoristas, amostragem de solo, supervisores (líderes, auxiliar de topografia etc.), mão de obra do plantio (operadores, tratorista, motorista, serviços gerais), custo com corte, carregamento e transporte (CCT) e custo com mecanização (Socicana, 2019).

De um modo geral, as pesquisas quantitativas procedem das coletas de dados numéricos (Albers, 2009) e, (Vaneeden, 2011) grande parte das pesquisas quantitativas são realizadas por meio de análises estatísticas.

Nesta pesquisa analisaram-se 792 acontecimentos entre as 11 variáveis (04-20-20, 20-05-20, calcário dolomítico, DIMETHYLAMMONIUM, Paraquate, Trifloxistrobina, Tebuconazol, Piraclostrobina, Thiamethoxam, Imidacloprido e tonelada da cana-de-açúcar) e suas oscilações, acontecidas em um determinado período histórico. No entanto, os produtos/insumos utilizados na cultura da cana-de-açúcar têm correlações de variações de preços com o dólar segundo Bigaton *et al.* (2017) e CNA (2022). Desta forma este artigo tem o intuito de propor uma análise de tendência realizada pelo *predictor* que evidencie o impacto dos custos em um cenário futuro com base na coleta de dados realizadas entre 01 de janeiro de 2015 a 30 de dezembro de 2020.

Inicialmente os dados referentes às variáveis da Tabela 1 foram analisados por meio de medidas descritivas. Posteriormente, analisados os custos de produção por hectare e por tonelada de cana-de-açúcar, por meio da análise de frequência acumulativa do *software Crystall Ball*<sup>®</sup>, (Oracle, 2021), entre todas as variáveis supracitadas; também foram analisados o lucro por hectare e por tonelada da cana-de-açúcar e, por fim, as previsões dos custos para os próximos 12 meses, a partir de janeiro de 2021, dos custos de produção, por meio da ferramenta *Predictor*.

Os custos por tonelada da cana-de-açúcar foram realizados utilizando-se a equação:

$$CPTC = (CPTC \div PREÇO) \quad (1)$$

Onde:

CPTC: Custo por tonelada de cana-de-açúcar;

PREÇO: Preço médio da tonelada da cana US\$ 8,79 (UDOP, 2021).

O valor monetário CPTC foi convertido em dólar US\$ 5,65.

### 3 MODELO DE SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

Para analisar o nível de probabilidade dos custos e lucros, utilizou-se a frequência acumulativa, por meio da SMC, versão gratuita do *software Oracle Crystal Ball*, extensão do *Excel*, conforme Silva *et al.* (2019) e Abreu e Amorim (2017) com o propósito de proporcionar as projeções, por meio de uma abordagem estocástica.

A SMC é um método numérico que utiliza números aleatórios para solucionar problemas matemáticos para os quais uma solução analítica ainda não é conhecida (Silva, *et al.*, 2019; Ruback, *et al.*, 2018; Sausen *et al.*, 2021; Abreu; Amorim, 2017). Esses autores mencionaram que a SMC é utilizada nas análises de risco, sendo realizada por meio de modelos capazes de gerar possíveis resultados, por uma faixa de valores, na forma de uma distribuição de probabilidade, em que se tenha incerteza inerente. Nesse caso, os valores utilizados nos intervalos inferiores e superiores deste trabalho, para identificar o nível de probabilidade dos custos e lucros, foram do desvio padrão mencionados na análise descritiva da SMC.

As variáveis de entrada que deram suporte à simulação são denominadas pelo *Crystal Ball* por 'Pressupostos' (Silva *et al.*, 2019). Todos eles foram realizados por meio da distribuição normal. O motivo da escolha desse modelo se dá pela baixa dispersão dos valores apresentados na análise descritiva da SMC. Dessa forma, simulam-se os números possíveis para a variável de interesse e, em seguida, obtém-se o resultado médio do processo por meio da equação 7:

$$a_m = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

onde  $a_m$  é o resultado médio da SMC para a variável de interesse,  $a$ ,  $x$  consiste no resultado individual de cada iteração simulada e  $n$  é o número de simulações (iterações).

No presente artigo, foram realizadas 50.000 iterações, valor máximo de iterações que o software disponibiliza, o que se acredita ser um número relevante para o problema de interesse. Valores semelhantes foram utilizados no estudo de (Silva *et al.*, 2019; Abreu; Amorim, 2017).

Com o intuito de prever os acontecidos para um futuro próximo, foi utilizada a ferramenta *Predictor* do *software* supracitado. Ela é utilizada para realizar previsões baseadas em 'séries de tempo', analisando os dados históricos em busca de tendências e padrões sazonais. Essas informações são projetadas no futuro, para se prever resultados mais prováveis.

As previsões dos cenários foram projetadas para um período de 12 meses, a partir dos valores capturados no período supracitado (14/04/2021 a 13/04/2022). Os resultados evidenciaram um número esperado dos custos, considerando as condições anteriormente descritas.

A SMC utilizou os métodos quantitativos baseados em séries temporais como forma de realizar a previsão, conforme descrito a seguir:

- Média Móvel Dupla (MMD): É sugerido quando os dados históricos possuem uma tendência, mas sem sazonalidade, conforme Oracle (2021). Sua fórmula:  $MMD = (2 * MME(n) - (MME(MME(n)))$ ;
- Tendência Amortecida Não Sazonal (TANS): É um método para base de dados em sazonalidade com uma tendência. Gera uma previsão com curvas, que se estabiliza com o longo tempo. Delineia cada uma para o futuro e as remonta em uma tendência mais multiplicativa, de acordo com Oracle (2021). Sua fórmula:  $bt = B * (1t - 1t) + (1 - B) * \phi bt - 1$ ;

- Suavização Exponencial Simples (SES): Esse método pondera todos os dados com pesos exponencialmente decrescentes em direção ao passado extrapolando as limitações das médias móveis, conforme Oracle (2021). Sua fórmula:  $P_{t+1} = \alpha R_t + (1-\alpha)P_t$ ;
- Suavização Exponencial Dupla (SED): É realizado, aplicando-se duas vezes os dados originais, depois, aos dados SES resultante, de acordo com Oracle (2021). Sua fórmula:  $N_t = R_t + (1-\beta)(N_{t-1} - T_{t-1})$   $T_t = \beta(N_t - N_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1}$   $P_{t+p} = N_t + pT_t$ ;
- ARIMA: É um método superior aos métodos da suavização quando realizado por grandes períodos, sendo capaz de demonstrar as autocorrelações aos dados pesquisados, sendo indicados para bancos de dados que possuem tendências e sazonalidades, conforme Oracle (2021). Sua fórmula:  $R_t = \phi_1 R_{t-1} + \phi_2 R_{t-2} + \dots + \phi_p R_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} + \theta_2 a_{t-2} + \dots + \theta_q a_{t-q}$ .

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como forma de evidenciar a variabilidade dos preços dos insumos utilizados na produção de cana-de-açúcar, levantados mensalmente nesta pesquisa, ilustra-se (Figura 1) a discrepância entre a variação dos fertilizantes 04-20-20 e 20-05-20, comparada aos demais insumos, mostrando tendência de alta considerável neste período. Esses insumos evidenciam maior impacto nos custos de produção da cana-de-açúcar, indo ao encontro dos resultados mencionados por Rossi e Fernandes (2020) e Amorim *et al.* (2019).

Em relação aos preços dos outros insumos: Thiametoxam, Imidacloprido, Dimethylammonium, Trifloxistrobina, Tebuconazol, Paraquate, Piraclostrobina, Calcário e da tonelada da cana-de-açúcar, há poucas oscilações para o período analisado. Mesmo com a oscilação do câmbio nesse período, esses insumos mostraram uma tendência oposta à mencionada pela literatura (Rossi; Fernandes, 2020). A seguir, são demonstrados (Figura 1) os preços dos insumos supracitados em US\$.

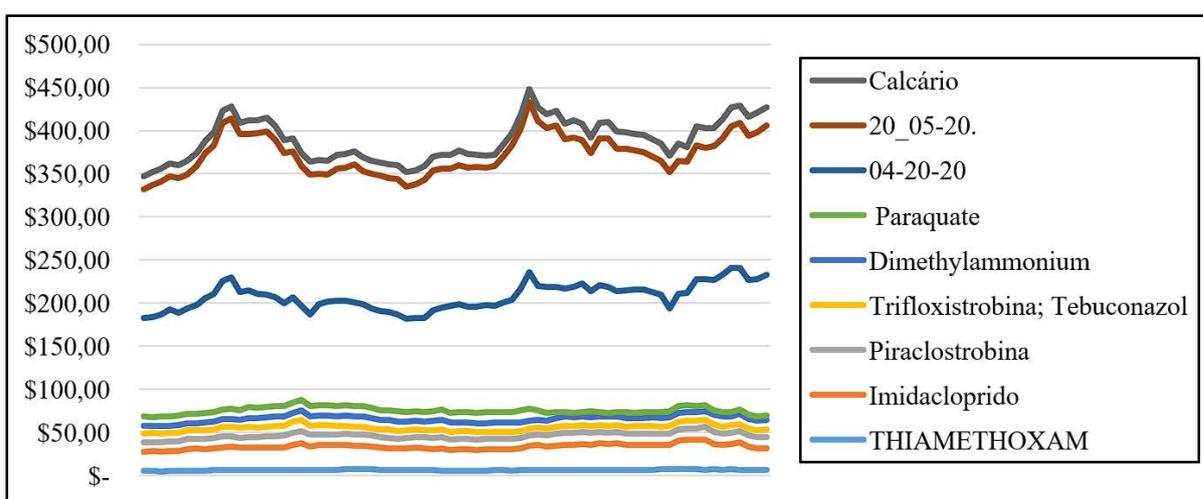


Figura 1. Preço médio entre janeiro/2015 e dezembro/2020 dos insumos utilizados na produção de cana-de-açúcar.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Entre os modelos que o *software* sugere para realizar a previsão de custos/ton para os próximos 12 meses, a TANS conseguiu sintetizar o que se esperava de um cenário para uma tendência breve, em um futuro próximo (365 dias), para os custos/ton. dos fertilizantes 04-20-20 (plantio) e 20-05-20 (tratos culturais), estão com tendência de alta para os meses analisados, em destaque para o segundo. Esses dados evidenciam que os custos de produção da cana-de-açúcar estão propensos a aumentar para a próxima safra.

O valor mínimo do custo/ton./cana referente ao fertilizante 04-20-20 é US\$ 0,15 e para o 20-05-20 é US\$ 0,20. Os valores médios foram US\$ 0,20 e US\$ 0,25, e os máximos US\$ 0,28 e US\$ 0,35, com desvio padrão de US\$ 0,03 e US\$ 0,04, respectivamente.

O comportamento do preço maior para o fertilizante 20-05-20 para os próximos 12 meses se deve ao aumento expressivo do câmbio nos últimos meses, em especial para o componente nitrogênio, o qual utiliza 16% a mais desse componente em sua formulação.

O modelo TANS do fertilizante 04-20-20 demonstrou que a série possui um processo estocástico não estacionário, pois as propriedades estatísticas de ao menos uma sequência finita dos componentes é diferente daquelas da sequência para ao menos um número inteiro. Em outras palavras, um processo estocástico não estacionário é quando a distribuição conjunta de qualquer conjunto de variáveis se modifica se modificarmos as variáveis no tempo. Isso em decorrência das correlações parciais da série, evidenciadas no modelo ARIMA (0,1,0). Ainda pode-se perceber através dos valores da estatística DW que há correlação de primeira ordem, seja positiva ou negativa, com valores próximos a 2.0 para o fertilizante 04-20-20. Já os resultados estatísticos para o fertilizante 20-05-20 se assemelham aos resultados anteriores, e também evidenciam, segundo o *software*, que o modelo ARIMA desse cenário, (0,1,0), a série possui um componente autorregressivo (AR) insignificante. Em relação aos valores da estatística DW evidencia que há correlação de primeira ordem, seja positiva ou negativa, com valores próximos a 2.0 para o modelo TANS.

Com relação à tendência dos preços para os próximos 12 meses dos inseticidas, percebe-se uma tendência de alta para Thiamethoxam, e o oposto para o próximo ano do Imidacloprido.

O valor mínimo do custo/ton./cana referente ao inseticida Thiamethoxam é US\$ 0,007, e do Imidacloprido US\$ 0,031. Os valores médios foram US\$ 0,010 e US\$ 0,041, e máximo US\$ 0,012 e US\$ 0,051, com desvio padrão de US\$ 0,001 e US\$ 0,005 respectivamente. A diferença percentual do custo/ton entre os dois produtos é 310%. Todavia, o custo/benefício do produto Thiamethoxam é mais atrativo.

Segundo a Socicana (2019), o custo/ton./cana referente à safra 2018-2019 de inseticida para o controle de *Sphenophorous (S. levis)* foi US\$ 0,34, com base na cotação do câmbio de R\$ 5,65.

Esses dados evidenciam que o custo de produção da cana-de-açúcar para eliminar as principais pragas dessa etapa da produção: broca da cana-de-açúcar "*Diatraeasaccharalis*", bicudo da cana-de-açúcar "*Sphenoforus Levis*", cigarrinha-da-raiz "*Mahanarvafimbriolata*", besouro "*Migdólus*", (*Migdolusfryanus*), e tende a aumentar para a próxima safra. "*Diatraeasaccharalis*", formigas: "*Atta laevigata*", "*Atta bisphaerica*", "*Atta capiguara*" e cupins: "*Hetterotermes tenuis*", "*Hetterotermes longiceps*", "*Procornitermes triacifer*" (Dinardo-Miranda *et al.*, 2012).

Nesse contexto, o controle de insetos e pragas torna-se fundamental para uma elevada produtividade na lavoura de cana-de-açúcar Oliveira *et al.* (2012) e Leite *et al.* (2012) avaliaram a eficácia de inseticidas químicos no controle do *S. levis* bicudo-da-cana-de-açúcar com a aplicação dos inseticidas *tiametoxam*, *fipronil*, *imidaclopride*, o que resultou em menor número de plantas danificadas pelos insetos supracitados, gerando incrementos de produtividade/ha.

A Tabela 1, mostra que o método mais adequado para todos os grupos, considerando a previsão de tendência, utilizando-se a análise do (*Predictor*), com base no menor erro quadrático, foi a TANS.

Os resultados estatísticos da Tabela 1 evidenciam que o método mais adequado para esses grupos, considerando a previsão de tendência, utilizando-se a análise do (*Predictor*), com base no menor erro quadrático, foi o ARIMA para o Thiamethoxam e a SES para o Imidacloprido.

Os modelos ARIMA do Thiamethoxam demonstraram que a série possui um componente autorregressivo (AR) insignificante, em decorrência das autocorrelações parciais da série, evidenciadas no modelo ARIMA (1,0,0). Pode-se perceber através dos valores da estatística DW, que não há correlação de

primeira ordem, seja positiva ou negativa, com valores próximos a 2.0, para o Thiamethoxam e para o Imidacloprido, igual a 2.0.

Com relação aos fungicidas Piraclostrobina e Trifloxistrobina/Tebuconazol tem-se uma tendência de queda para os próximos 12 meses. O valor mínimo do custo/ton/cana referente ao primeiro é US\$ 0,015, e US\$ 0,011 para o segundo. Os valores médios foram US\$ 0,019 e US\$ 0,014, e os máximos US\$ 0,024 e US\$ 0,021, com desvios padrões US\$ 0,02 e US\$ 0,03 respectivamente. Portanto, o custo de produção média do Piraclostrobina é 26.3% superior ao Trifloxistrobina/Tebuconazol.

No entanto, os dados evidenciam que o custo de produção da cana-de-açúcar para o plantio e para os tratos culturais tendem a diminuir para a próxima safra, para combater as doenças do plantio: podridão abacaxi (*Ceratocystis paradoxa*), podridão vermelha (*Colletotrichum falcatum*), podridão de “*Fusarium fusariense*”, (*fusarium moniliforme*); e doenças dos tratos culturais: ferrugem (*Puccinia melanocephala*). Ademais, ambos os fungicidas podem ser utilizados para o controle das doenças supracitadas.

O modelo SED do Thiamethoxam e TANS do Thiamethoxam demonstraram que a série possui um componente AR significativo, pois o coeficiente autorregressivo e o coeficiente da SED e do TANS ponderaram o comportamento da previsão, elevando a acuracidade dessa ação, demonstrando um modelo adequado. Por outro lado, pode-se perceber que os valores da estatística DW que não há correlação de primeira ordem, seja positiva ou negativa, com valores próximos a 2.0.

Os herbicidas Dimethylammonium (utilizado para controlar as plantas daninhas de folhas largas *dicotiledôneas*) e Paraquate (plantas daninhas de folha estreitas ou gramíneas *monocotiledôneas*) também, apresentam tendência de baixa para os próximos 12 meses.

O valor mínimo do custo/ton/cana do primeiro é US\$ 0,013, e US\$ 0,007 do segundo. Os valores médios foram US\$ 0,015 e US\$ 0,015, e máximos US\$ 0,018 e US\$ 0,022, com desvio padrão de US\$ 0,001 e US\$ 0,005 respectivamente. Segundo a Socicana (2019), o custo/ton/cana referente à safra 2018-2019 de inseticida para o controle de ervas daninhas com herbicidas foi US\$ 0,56, com base na cotação do câmbio de R\$ 5,65.

A análise do Calcário indica uma leve tendência de alta dos preços/ton para os próximos 12 meses. O valor mínimo do custo/ton/cana é US\$ 0,019, médio US\$ 0,026 e máximo US\$ 0,034, com desvio padrão de US\$ 0,004. Dados da Socicana (2019), safra 2018-2019, apontaram que o custo/ton/cana com calagem, utilizando a cotação do câmbio de R\$ 5,65, foi US\$ 0,013.

O produto analisado é importante para a cana-de-açúcar porque aumenta a exploração da água e dos nutrientes do solo, auxiliando a planta na tolerância à seca (Caldeira, *et al.*, 2010). Nesse contexto os autores afirmaram ter uma relação positiva na produtividade da cana-de-açúcar com o uso do calcário em três variedades comerciais de cana-de-açúcar (SP79-1011, RB855453 e RB855113), podendo chegar a 2,58 toneladas por hectare. Nessa mesma,ótica Silva *et al.* (2014) mencionaram que o calcário proporcionou resposta positiva e linear sobre a produtividade de cana-de-açúcar para cada tonelada do corretivo fornecido. Houve ganho de 2,81 toneladas por hectare.

A Tabela 1, mostra que o método mais adequado para todos os grupos, considerando a previsão de tendência, utilizando-se a análise do (*Predictor*), com base no menor erro quadrático, foi a TANS, evidenciando que o coeficiente da SES ponderou o comportamento da previsão, elevando a acuracidade dessa ação, demonstrando assim um modelo adequado, pois os valores da estatística DW evidenciam que há correlação de primeira ordem, seja positiva ou negativa, com valores próximos a 2.0.

Os modelos ARIMA (1,1,1) demonstra que a série possui um comportamento homogêneo de ordem 1 (Dimethylammonium), denominado de processo estocástico estacionário em sentido estrito, pois é estacionário pelas características das propriedades estatísticas de qualquer ordem serem semelhantes

e não se modificarão, se alternarmos as variáveis no tempo. Dessa forma, o comportamento homogêneo ponderou a previsão, elevando a acuracidade dessa ação, demonstrando um modelo adequado. Ainda se percebe através dos valores da estatística DW que há correlação de primeira ordem, seja positiva ou negativa, com valores próximos a 2.0.

Os resultados estatísticos da Tabela 1 evidenciam que o método mais adequado para esses grupos, considerando a previsão de tendência, utilizando-se a análise do (*Predictor*), com base no menor erro quadrático, foi o ARIMA para o Thiamethoxam e a SES para o Imidacloprido.

Os modelos ARIMA do Thiamethoxam demonstraram que a série possui um componente autorregressivo (AR) insignificante, em decorrência das autocorrelações parciais da série, evidenciadas no modelo ARIMA (1,0,0). Pode-se perceber através dos valores da estatística DW, que não há correlação de primeira ordem, seja positiva ou negativa, com valores próximos a 2.0, para o Thiamethoxam e para o Imidacloprido, igual a 2.0.

Por outro lado, o modelo SED mostrou que a série possui um componente AR significativa (Paraquate) e pode-se perceber dos valores da estatística DW, que não há correlação de primeira ordem, seja positiva ou negativa, com valores próximos a 2.0 (Tabela 1).

O modelo SED do Thiamethoxam e TANS do Thiamethoxam demonstraram que a série possui um componente AR significativa, pois o coeficiente autorregressivo e o coeficiente da SED e do TANS ponderaram o comportamento da previsão, elevando a acuracidade dessa ação, demonstrando um modelo adequado. Por outro lado, pode-se perceber que os valores da estatística DW que não há correlação de primeira ordem, seja positiva ou negativa, com valores próximos a 2.0.

**Tabela 1.** Resumo estatísticos dos insumos utilizados na produção de cana-de-açúcar

Grupos	Estatística D-W			U de Theil		
04-20-20	Tans	Arima (0,1,0)	Mms	Tans	Arima (0,1,0)	Mms
	2.07	1.91	1.91	1.01*	1.00	1.00
20-05-20	Tans	Arima (0,1,0)	Sed	Tans	Arima (0,1,1)	Sed
	2.09	2.03	2.03	1.00*	1.00	1.00
Thiamethoxam	Ses	Arima(1,0,0)	Tans	Ses	Arima(1,0,0)	Tans
	1.87	1.80	1.87	0.99	0.95*	1.00
Imidacloprido	Tans	Sed	Ses	Tans	Sed	Ses
	1.71	1.71	1.71	1.00	1.00	1.00*
Piraclostrobina	Sed	Tans	Mms	Sed	Tans	Mms
	2.39	2.47	2.46	0.99	1.00*	1.00
	Sed	Ses	Tans	Sed	Ses	Tans
Dimet	2.02	2.10	2.10	0.99*	0.99	0.99
	Mmd	Arima (1,1,1)	Sed	Mmd	Arima (1,1,1)	Sed
	1.26	1.94	1.93	0.95*	0.89	0.96
Paraquate	Sed	Ses	Tans	Sed	Ses	Tans
	1.94	1.92	1.94	1.00*	0.99	0.99
Dimethylammonium	Sed	Tans	Ses	Sed	Tans	Ses
	2.08	2.08	2.08	0.94*	0.94	0.94*

Fonte: Elaborado pelos autores.

A seguir (Figura 2) mostra-se que o custo total/ton prevê uma leve tendência de alta para os próximos 12 meses. O valor mínimo do custo/ton/cana referente é US\$0.45, médio US\$ 0.55 e máximo US\$0.75, com desvio padrão de US\$ 0.079.



Figura 2. Tendência do custo total/ton./cana dos insumos usados na produção de cana-de-açúcar em US\$.

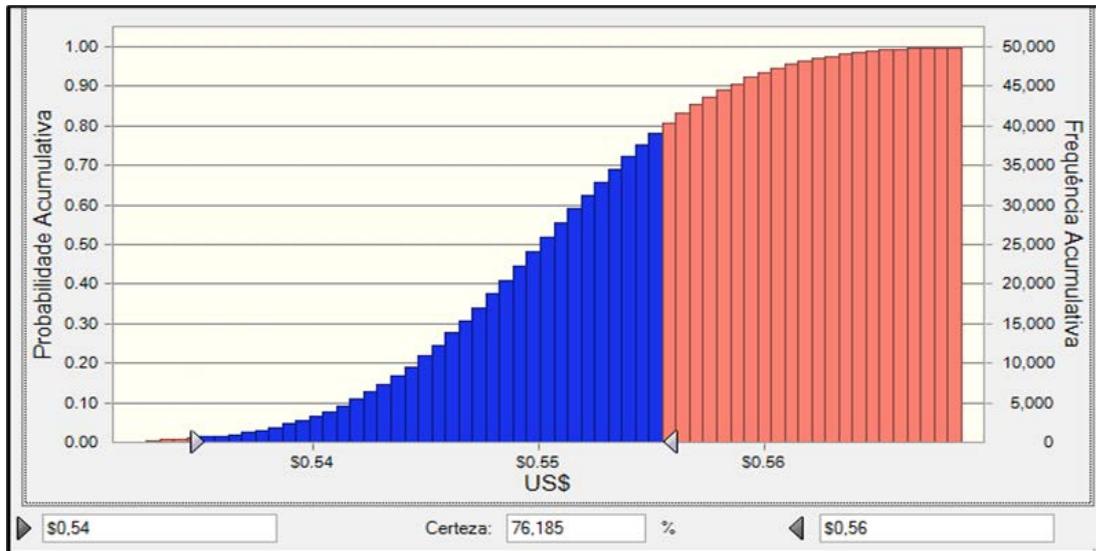
No modelo TANS, da Tabela 2, demonstra-se que a série possui um processo estocástico não estacionário, pois as propriedades estatísticas de ao menos uma sequência finita dos componentes é diferente daquelas da sequência para ao menos um número inteiro. Isso em decorrência das correlações parciais da série, evidenciadas no modelo ARIMA (0,1,0). Ainda, pode-se perceber dos valores da estatística DW, que há correlação de primeira ordem, seja positiva ou negativa, com valores próximos a 2.0.

Tabela 2. Resumo estatístico para os custos/ton/cana dos utilizados na produção de cana-de-açúcar

	Estatística D-W			U de Theil		
	Arima (0,1,0)	Tans	Mms	Arima(0,1,0)	Tans	Mms
Custo Total	2.00	1.99	2.00	1.00	1.01	1.00

Fonte: Elaborado pelos autores.

Como forma de analisar o nível de probabilidade dos custos/ton foi realizada uma SMC, por meio da frequência acumulativa (Figura 3):



**Figura 3.** Análise da frequência acumulativa dos custos totais médios referente aos insumos Thiamethoxam, Dimethylammonium, Trifloxistrobina, Tebuconazol, Paraquate, Piraclostrobina, Calcário, 20-05-20 e 04-20-20.

Fonte: Elaborado pelos autores.

O resultado demonstra que o nível de probabilidade do custo/ton/cana foi 76,2% (Figura 4), com um custo médio de US\$ 0,55. Esse percentual foi realizado a partir da diferença do valor do desvio-padrão US\$ 0,01. Dentre os custos com insumos, os fertilizantes representam 82,1%, ou seja, a maioria dos custos está com concentrado nesses produtos.

Uma alternativa para reduzir os custos com fertilizantes seria a utilização do sistema de taxa variável<sup>6</sup> (TV). Nesse contexto, segundo Baio *et al.* (2018), relata-se que a técnica é utilizada na agricultura de precisão para a aplicação de fertilizantes, o que possibilita a racionalização desses produtos, sendo que os autores afirmaram que o uso do sistema de TV mostrou-se vantajoso. Corroborando, Colaço e Molin (2017), e Amorim *et al.* (2019) afirmaram que o uso de TV reduziu o uso de insumos, de forma sustentável para o setor.

#### 4 CONCLUSÃO

Respondendo ao objetivo proposto nesse trabalho, os insumos que estão com tendência de alta para os próximos 12 meses são os fertilizantes, o inseticida Thiamethoxam e o Calcário. Os demais insumos sinalizam queda para o próximo ano. No entanto, a previsão de tendência para o custo total, nesse período, é de alta.

Entre os insumos mais impactantes nos custos, os destaques são os fertilizantes 04-20-20 e 20-05-20, representando 82,1%, equivalente a US\$ 0,35 do total. Ademais, a soma do custo total médio dos insumos Thiamethoxam, Dimethylammonium, Trifloxistrobina, Tebuconazol, Paraquate, Piraclostrobina, Calcário, e os fertilizantes 20-05-20 e 04-20-20, representam US\$ 0,55/ton/cana-de-açúcar.

O uso racional dos insumos e pesticidas tende a ser um aliado ao setor sucroenergético, devido aos estímulos do custo/benefício entre o enquadramento das normas de sustentabilidades internacional e o acréscimo da remuneração da tonelada da cana-de-açúcar. Dessa forma, opções de pesticidas são bem-vindas ao setor, pois os fornecedores tendem a ter opções na aquisição desses produtos e, com uma maior

<sup>6</sup> Aplicação de corretivos de acordo com cada ponto analisado por grid, ou zona de manejo.

concorrência de empresas e produtos a disposição dos fornecedores de cana-de-açúcar o custo de produção tende a ser menor. Assim, essa é uma compensação do custo/ton. da cana-de-açúcar no atual cenário devido à alta dos preços de produção, sobretudo os impactados pela alta do dólar.

Ressalta-se ainda a importância de estratégias para se obter vantagem num mercado cada vez mais competitivo. Em especial neste produto a estratégia de diferenciação, capaz de promover melhores resultados de vendas sem que os custos sejam alterados de forma desproporcional e comprometam o resultado; isso gera impacto positivo às companhias sem alterações significativas nos preços dos principais insumos envolvidos na produção.

Também merece destaque as opções hoje disponíveis para utilização na cadeia de cultivo da cana-de-açúcar. As diversas formas de preparo do solo, bem como de insumos utilizados impactam diretamente na produtividade e, portanto, no resultado. Assim, escolher de forma adequada garante não somente um melhor lucro, mas em muitos casos pode ser crucial para a sobrevivência das companhias num mercado marcado cada vez mais por inovação, vantagens competitivas e produtividade. E ser capaz de formular cenários para variação de custos dos principais insumos permite antecipar quaisquer problemas e melhorar o processo produtivo.

Uma das limitações/implicações desse trabalho é a pouca disponibilidade de informações dos produtos e dados históricos de preços utilizados na produção de cana-de-açúcar quando comparado com o setor farmacêutico. Como sugestão a pesquisas futuras sugere-se utilizar outros modelos matemáticos, como análise de regressão linear múltipla ou sistema de lógica *fuzzy*, para identificar as variáveis significativas que influenciam o custo de produção da cana-de-açúcar

## REFERÊNCIAS

- ALBERS, M. J. Quantitative data analysis: in the graduate curriculum. **Journal of Technical Writing and Communication**, v. 47, n. 2, p. 215-233, 2009.
- ABREU, P. H. C.; AMORIM, F. R. Gerenciamento dos riscos em projetos de software: uma aplicação da simulação de monte carlo no cronograma de um projeto. **Interface Tecnológica (SÃO PAULO)**, v. 14, p. 53-71, 2017.
- AMORIM, F. R.; PATINO, M. T. O.; ABREU, P. C.; SANTOS, D. F. L. Avaliação econômica e de risco dos sistemas de aplicação de fertilizantes na cultura de cana-de-açúcar: taxa fixa por média e taxa variável. **Custos e @gronegocio on line**, v. 15, n 1, p. 140-166, 2019.
- AMORIM, FERNANDO RODRIGUES DE; PATINO, MARCO TULLIO OSPINA; SANTOS, DAVID FERREIRA LOPES. Soil tillage and sugarcane planting: an assessment of cost and economic viability. **Scientia Agricola**, v. 79, n 1, p. 1-6, 2022.
- AMORIM, F.R.; PATINO, M.T.O; MARCOMINI, G.R. Sustentabilidade da produção de cana-de-açúcar em usinas no estado de São Paulo. **Revista em Agronegocio e Meio Ambiente**. V. 11, p. 1133-1145, 2018. DOI: 10.17765/2176-9168.2018v11n4p1133-1145
- ROSSI, R. M.; FERNANDES, F. B. Análise estratégica da evolução dos custos de produção da cultura da cana-de-açúcar em Goiás. **Custos e @gronegocio on line**, v. 16, n.3, p. 256-289, 2020.
- BAIO, F. H. R.; NEVES, D. C.; SOUZA, H. B.; LEAL, A. J. F.; LEITE, R. C.; MOLIN, J. P.; Silva, S. P. Variable rate spraying application on cotton using an electronic fow controller. **Precision Agric.**, v. 19, n. 1, p. 1-17, 2018.

BIGATON, A.; DANELON, A. F.; BRESSAN, G.; SILVA, H. J. T.; ROSA, J. H. M. Previsão de custos do setor sucroenergético na região Centro-Sul do Brasil: safra 2017/18. **Revista IPEcege**, v. 3, n 3, p. 65-70, 2017.

BHINGE, R.; MOSER, R.; MOSER, E.; LANZA, G.; DORNFELD, D. Sustainability optimization for global supply chain decision-making. **Procedia CIRP**, v. 26, p. 323-328, 2015.

CALDEIRA, D.S.A.; Casadei, R.A. Efeito do calcário em soqueiras de três variedades de cana-de-açúcar no Mato Grosso. **Tecnol. & Ciên. Agropec**, v. 4, n. 3, p. 05-09, 2010.

CNA. Confederação Nacional da Agricultura e da Pecuária do Brasil. **CNA analisa custos de produção da cadeia da cana-de-açúcar**, 2022. Disponível em: <https://cnabrasil.org.br/noticias/cna-analisa-custos-de-producao-da-cadeia-de-cana-de-acucar> . Acesso em 28 nov. 2023.

CONAB. Companhia Nacional De Abastecimento. **Safra brasileira de cana-de-açúcar**, 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cana>. Acesso em: 23 fev. 2022.

COLAÇO, A.; MOLIN, J. P. Variable rate fertilization in citrus: a long term study. **Precision Agric.**, v. 18, n. 2, p. 169–191, 2017.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; ANOS, I. A.; COSTA, V. P.; FRACASSO, J. V. Resistance of sugarcane cultivars to *Diatraea saccharalis*. **Pesq. Agropec. Bras**, v. 47, n. 1, p. 1-7, 2012.

FARIAS, C.H.A.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; Dantas Neto, J. Qualidade industrial de cana-de-açúcar sob irrigação e adubação com zinco, em Tabuleiro Costeiro paraibano, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 419–428, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4<sup>a</sup> ed. São Paulo: Atlas, 2009.

IEA. Instituto de Economia Agrícola. **Preços mensais pago pela agricultura**. 2021. Disponível em: [http://ciagri.iea.sp.gov.br/bancoiea\\_Testes/Pagos2\\_Sistema\\_Sobre.aspx](http://ciagri.iea.sp.gov.br/bancoiea_Testes/Pagos2_Sistema_Sobre.aspx). Acesso em: 01 mar. 2022.

LEITE, L.G.; TAVARES, F. M.; BOTELHO, P. S. M.; BATISTA FILHO, A. P. R. A.; Schmidt, F. S. Eficiência de nematoides entomopatogênicos e inseticidas químicos contra *Sphenophorus levis* e *Leucothyreus* sp. em cana-de-açúcar. **Pesq. Agropecu. Trop.**, v. 42, n. 1, p. 40-48, 2012.

MARTINS, G. A. D.; ABREU, P. H. C.; AMORIM, F. R.; TERRA, L. A. A. Principais estratégias de diferenciação adotadas pelas empresas do setor Sucroalcooleiro. **Nucleus**, v. 15, n. 1, p. 319-330, 2018.

ORACLE. **Como Trabalhar com Planejamento Preditivo no Smart View**. 2021. Disponível em: [https://docs.oracle.com/cloud/help/pt\\_BR/pbcs\\_common/CSPPU/double\\_exponential\\_smoothing\\_des.htm](https://docs.oracle.com/cloud/help/pt_BR/pbcs_common/CSPPU/double_exponential_smoothing_des.htm). Acesso em: 28 fev. 2022.

OLIVEIRA, T.; SELIG, P.; BARBOSA, V.; CAMPOS, L.; BORNIA, A.; OLIVEIRA, M. Tecnologia e custos de produção de cana-de-açúcar: um estudo de caso em uma propriedade agrícola. **Latin American Journal of Business Management**, v. 3, n 1, p. 150-172, 2012.

RUBACK, R. O.; COSTA, V. M. A new method for analyzing three-phase faults under data uncertainties. **IEEE Latin America Transactions**, v. 16, n. 5, p. 1395-1401, 2018.

SAUSEN, J. P.; ABAIDE, A. R. Residential Charging Scheduling of Electric Vehicles in Brazilian Context. **IEEE Latin America Transactions**, v. 19, n.10, p. 1624-1631, 2021.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 23<sup>a</sup> ed. São Paulo: Cortez, 2007.

SILVA, S. A.; ABREU, P. H. C.; AMORIM, F. R.; SANTOS, D. F. L. Application of Monte Carlo Simulation for Analysis of Costs and Economic Risks in a Banking Agency. **IEEE Latin America Transactions**, v. 17, n. 3, p. 409-417, 2019.

SILVA, S. V.; SANTOS, J.; TUCCI, C.; CARDOSO, A. Efeito de doses de calcário e cultivares na produtividade e qualidade agroindustrial da cana-de-açúcar em solo da Amazônia. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 8, n. 3, p. 298-305, 2014.

SOCICANA. Associação dos fornecedores de Cana de Guariba. **Custo Médio Operacional Região de Guariba/SP. Propriedade de Grande Escala Acima de 100 há**. 2019. Disponível em: <http://socicana.com.br/2.0/wp-content/uploads/SOCI1091-Custo-de-Producao-Atualizacao-Site-GRA.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2022

TADDESE, F. Application of TQM for innovation: an exploratory research of Japanese, Indian and Thailand companies. **International Journal of Innovation and Technology Management**, v. 14, n. 4, p. 1-20, 2017.

UDOP. União dos Produtores de Bioenergia. **Valores de ATR e Preço da Tonelada de Cana-de-açúcar - Consecana do Estado de São Paulo**. 2021. Disponível em: [https://www.udop.com.br/cana/tabela\\_consecana\\_saopaulo.pdf](https://www.udop.com.br/cana/tabela_consecana_saopaulo.pdf). Acesso em: 24 fev. 2022.

VANEEDEN, E. E. Environmental history within a revitalized integrative research methodology for today and tomorrow. **Interdisciplinary Science Reviews**, v. 36, n. 4, p. 314-329, 2011

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 2<sup>a</sup> ed. São Paulo: Atlas, 1998.

WILLIAMSON, J. Economia aberta e a economia mundial. **Campus**, Rio de Janeiro, 1989.