



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FCAV - FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL

**PLANEJAMENTO OPERACIONAL AGRÍCOLA DE TRATOS
CULTURAIS EM CANA SOCA E LEAD TIME DAS OPERAÇÕES – UM
ESTUDO DE CASO**

Mateus Henrique da Silva Costa

Jaboticabal
2024



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FCAV - FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL

**PLANEJAMENTO OPERACIONAL AGRÍCOLA DE TRATOS
CULTURAIS EM CANA SOCA E LEAD TIME DAS OPERAÇÕES – UM
ESTUDO DE CASO**

Mateus Henrique da Silva Costa

Orientador: Prof. Dr. José de Souza Rodrigues

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como exigência para obtenção do título de Mestre em Administração.
Área de Concentração: Gestão de Organizações Agroindustriais

Jaboticabal
2024

C837p

Costa, Mateus Henrique da Silva

Planejamento operacional agrícola de tratos culturais em cana soca e lead time das operações – um estudo de caso / Mateus Henrique da Silva Costa. -- Jaboticabal, 2024

71 f. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Jose de Souza Rodrigues

1. Cana-de-açúcar. 2. Planejamento agrícola. 3. Cultivos agrícolas. 4. Indústrias agrícolas. 5. Produtividade agrícola. I. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: PLANEJAMENTO OPERACIONAL AGRÍCOLA DE TRATOS CULTURAIS EM CANA SOCA E LEAD TIME DAS OPERAÇÕES – UM ESTUDO DE CASO

AUTOR: MATEUS HENRIQUE DA SILVA COSTA

ORIENTADOR: JOSÉ DE SOUZA RODRIGUES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Administração, área: Gestão de Organizações Agroindustriais pela Comissão Examinadora:

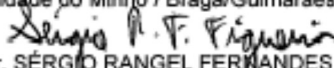
Prof. Dr. JOSÉ DE SOUZA RODRIGUES (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia de Produção / FEB UNESP Bauru



Documento assinado digitalmente
JOSE DE SOUZA RODRIGUES
Data: 02/10/2024 10:07:20-0300
Verifique em <https://validar.dl.gov.br>

Profa. Dra. ANABELA CARVALHO ALVES (Participação Virtual)
Universidade do Minho / Braga/Guimarães/Portugal

Assinado por: ANABELA CARVALHO ALVES
Num. de Identificação: 09926387
Data: 30/04/2024 11:47:50-01:00


Prof. Dr. SÉRGIO RANGEL FERNANDES FIGUEIRA (Participação Virtual)
Departamento de Economia Administração e Educação / FCAV UNESP Jaboticabal

Jaboticabal, 02 de setembro de 2024

Dedico

À Dani, minha amiga, incentivadora, minha amada esposa, o meu amor.

Aos meus filhos: Geovani e Helena, a quem amo sem medida

Vocês são meus presentes!

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Bom Deus, fonte de toda Ciência, Sabedoria e Poder. Que por sua Bondade me fez assentar entre os príncipes e dialogar com os doutores.

À minha família, Dani, Geovani e Helena, pela paciência, suporte, amor e por não deixar que eu desistisse dos meus sonhos.

Agradeço à empresa, nas pessoas dos meus gestores Matheus Gomes Nirschl e João Candido Ferreira Junior, por todo suporte e por darem condições para que esta pesquisa fosse feita.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Jose de Souza Rodrigues pelo grande apoio e paciência comigo nesta pesquisa. Muito obrigado professor!

Agradeço ao Prof. e Mestre Zé Kokão, ao Prof. Romeu e ao Dr. Júlio, que foram especiais demais nessa minha pequena trajetória acadêmica. Pois, na minha maior perda, eles estenderam a mão, pude concluir o ensino médio e continuar até aqui. Minha sincera gratidão a vocês.

Aos meus amigos, meus irmãos em Cristo que oraram e oram por mim, aos professores da UNESP que me abençoaram com suas aulas, meu muito obrigado! Feliz estou!

PLANEJAMENTO OPERACIONAL AGRÍCOLA DE TRATOS CULTURAIS EM CANA SOCA E LEAD TIME DAS OPERAÇÕES: UM ESTUDO DE CASO

Resumo: O planejamento é uma das funções principais do processo administrativo. Na gestão das atividades agrícolas há diversos desafios a serem enfrentados, incluindo variáveis não controláveis e de difícil previsão, como as condições climáticas. Neste estudo o foco está no processo de tratamento da cana soca. A cana soca é a parte mais representativa da produção total do canavial, pois é a etapa que mais se repete ao longo do ciclo de vida da cana. A justificativa para a realização deste trabalho decorre das contribuições que a gestão administrativa, atrelada à área da ciência agrônômica sobre as boas práticas de manejo agrícola, como a fonte, a dose, o local e o período em que ocorre uma atividade, interferem na produtividade da cana, especialmente na fase de tratos culturais da cana soca. A melhoria do manejo pode se dar por meio de inovações deste processo e da gestão das atividades que o constitui. Entre as funções que compõem a gestão administrativa está o planejamento e, do qual faz parte a programação. Ela depende fortemente da existência de dados e da confiabilidade deles durante as fases de análise e previsão. Porém, o lead time das operações agroindustriais é um elemento chave da gestão operacional em atividades agrícolas e incorpora as incertezas decorrentes da variabilidade natural dos processos e de suas falhas. O fator tempo é determinante para o desempenho das atividades agrícolas, pois os ciclos naturais determinam as janelas temporais adequadas para a realização de cada atividade. Antecipar ou retardar um processo pode culminar em perdas de produtividade no setor sucroalcooleiro. O método de pesquisa é o estudo de caso, o qual terá como fundamentação para a análise a revisão da literatura do planejamento agrícola em tratos culturais em cana soca com foco na análise do lead time ideal para a realização das operações de tratos soqueira: herbicida, fertilizante, corretivo e vinhaça. Onde buscou-se responder a hipótese se é possível obter retorno em produtividade realizando a programação das operações de tratos culturais em cana soca baseando-se em lead time? Os levantamentos e o caso analisado são das operações de uma usina sucroenergética do interior paulista. Os dados coletados são das safras 2021/2022 a 2023/2024. Em todas as operações identificou-se ganho em produtividade ao comparar áreas que receberam as aplicações de tratos dentro do lead time com as que foram realizadas fora do time. Ao focalizar a produtividade com vistas aos solos, os Argissolos mostraram maior tendência de incremento de produtividade. A variedade CTC4 figurou com maior destaque em produção média, a e o fator clima não foi impedimento para aumento de produtividade nos blocos analisados. Foi percebido impactos importantes na gestão agroindustrial ao trazer contribuições da maneira de se planejar, programar e controlar as atividades agrícolas, tendo o manejo de tratos culturais em cana soca direcionado pela metodologia do lead time das aplicações com retorno em produtividade ao canavial até mesmo nos casos de perda de produtividade natural conforme os cortes se sucedem.

Palavras-chave: Cana Soca, Tratos culturais, herbicida, fertilizante, corretivo, vinhaça, Planejamento Operacional, Lead time

AGRICULTURAL OPERATIONAL PLANNING OF CULTIVATION IN RATOON SUGARCANE AND OPERATIONS LEAD TIME: A CASE STUDY

Abstract: Planning is one of the main functions of the administrative process. In the management of agricultural activities, there are various challenges to be faced, including uncontrollable and difficult-to-predict variables, such as weather conditions. This study focuses on the process of handling ratoon cane. Ratoon cane is the most representative part of total sugarcane field production, as it is the phase that recurs the most throughout the cane's life cycle. The justification for this work lies in the contributions that administrative management, combined with agronomic science and good agricultural management practices such as the source, dose, location, and timing of an activity have on sugarcane productivity, especially during the ratoon cane treatment phase. Improvements in management can be achieved through innovations in this process and in the management of the activities it comprises. Among the functions that make up administrative management is planning, of which scheduling is a part. Scheduling heavily depends on the existence of reliable data during the analysis and forecasting phases. However, the lead time of agro-industrial operations is a key element in the operational management of agricultural activities, incorporating the uncertainties arising from the natural variability of processes and their failures. Time is a determining factor for the performance of agricultural activities, as natural cycles define the appropriate time windows for carrying out each activity. Advancing or delaying a process can result in productivity losses in the sugarcane and ethanol sector. The research method is a case study, which will be based on a literature review of agricultural planning for ratoon cane management, focusing on the analysis of the ideal lead time for performing ratoon cane management operations: herbicide, fertilizer, soil corrective, and vinasse application. The study sought to answer the hypothesis of whether it is possible to achieve productivity gains by scheduling ratoon cane management operations based on lead time. The data collection and case study involve the operations of a sugar-energy mill in the interior of São Paulo. The data collected are from the 2021/2022 to 2023/2024 harvests. In all operations, productivity gains were identified when comparing areas that received management applications within the lead time to those conducted outside of it. When focusing on productivity with a view to soil types, Argisols showed a greater tendency for productivity increases. The CTC4 variety stood out the most in terms of average production, and the climate factor was not an impediment to productivity increases in the analyzed blocks. Significant impacts on agro-industrial management were observed by incorporating contributions to the way agricultural activities are planned, scheduled, and controlled, with ratoon cane management being guided by the lead time methodology for applications, resulting in productivity gains in the sugarcane field, even in cases of natural productivity decline as successive cuts occur.

Keywords: Ratoon Cane, Cultural practices, herbicide, fertilizer, corrective, vinasse, Operational Planning, Lead time.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa da Mesorregião de São José do Rio Preto	16
Figura 2 - Tipos de Produtividade (Potencial e Atingível) com Fatores determinantes, limitantes e redutores.....	21
Figura 3 - Fases de desenvolvimento da Cana de Açúcar	23
Figura 4 - Níveis de Planejamento	27
Figura 5 - Etapas de Metodologia Estudo de Caso.....	36
Figura 6 - Etapas do processo KDD	38
Figura 7 – Solo Latossolo	54
Figura 8 – Solo Argissolo	55

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curvas de Priorização	30
Gráfico 2 - Análise da aderência das Safras Anteriores	31
Gráfico 3 – Produtividade Geral da unidade – Sem filtros de análise.....	40
Gráfico 4 – Produtividade Geral da unidade – Com filtros de análise	40
Gráfico 5 - Produtividade Média Operação Herbicida.....	43
Gráfico 6 - Produtividade Média Operação Nutrição.....	45
Gráfico 7 - Produtividade Média Operação Corretivo	47
Gráfico 8 - Produtividade Média todas as Operações	48
Gráfico 9 – Precipitação Mensal por Safra (mm).....	50
Gráfico 10 – Precipitação de Chuvas e Temperatura mínima e máxima por mês/Safra na Região da Empresa de Estudo.....	53
Gráfico 11 – Tipos de Solos Plantados na área estudada	56
Gráfico 12 – Percentual de Variedade Plantada no Estado de São Paulo 2022/2023	59
Gráfico 13 – Variedades de Cana Plantadas na unidade estudada	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Palavras-chave, base e resultados da busca de artigos	18
Tabela 2 - “lead time” para operação de aplicação de herbicida, corretivo e fertilizantes.....	31
Tabela 3 - Análise de Capabilidade Meta.....	32
Tabela 4 - Visão de Acompanhamento de Aderência por Bloco	32
Tabela 5 - Cronograma das Operações agrícola da Usina estudada.....	34
Tabela 6 - Volume de área em hectare por corte e por safra	39
Tabela 8 - Produtividade Média Operação Herbicida	43
Tabela 9 - Produtividade Média Operação Nutrição	45
Tabela 10 - Produtividade Média Operação Corretivo.....	47
Tabela 11 - Produtividade Média todas as Operações.....	48
Tabela 12 – Dados climáticos por safra nos meses de novembro a março	50
Tabela 13 – Análise de Produtividade Solos	57
Tabela 14 – Análise de Produtividade por Variedade, por safra	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

B-100	Boletim 100
B-200	Boletim 200
B-229	Boletim 229
ERP	Enterprise Resource Planning
IEA	Instituto de Economia Agrícola
KCL	Cloreto de Potássio
KDD	Knowledge Discovery in Database
PPCP	Planejamento Programação e Controle da Produção
SIBCs	Sistema Integrado de Bases e Condicionantes de Solos
TCH	Toneladas de Cana por hectare

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. Objetivos	13
1.2. Objetivos Específicos	13
1.2.1. Coletar e analisar dados da empresa estudada para verificar se eles confirmam o que é preconizado na literatura agronômica;	14
1.2.2. Identificar as áreas do trato da cana soca dentro e fora do tempo especificado pela empresa;	14
1.2.3. Comparar a produtividade destas áreas;	14
1.2.4. Avaliar os impactos da adoção da metodologia nas operações da empresa.	14
1.3. Justificativa	14
1.4. Delimitação do trabalho	15
1.5. Estrutura do Trabalho	17
2. REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1. Produtividade	19
2.2. Tratos Culturais	22
2.2.1. Tratos Culturais em Cana Soca	23
2.3. Gestão das Operações	25
2.3.1. Gestão Agroindustrial	25
2.3.2. Planejamento	26
2.3.3. Planejamento Operacional Agrícola	27
2.4. Lead time	28
2.4.1. Metodologia de Lead time adotada pela empresa	29
2.4.2. Curvas de Priorização	29
2.4.3. Análise e definição de time Padrão	30
2.4.4. Definição de Metas de aderência	31
2.4.5. Acompanhamento das Aderência ao Lead Time	32

3. MATERIAL E MÉTODO	34
3.1. Área de Estudo	34
3.2. Materiais	34
3.3. Definição e planejamento	36
3.4. Preparação, Coleta e Análise.....	36
3.5. Análise Cruzada e Conclusão	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1. Análise e Validação dos dados	38
<i>4.1.1. Análise de Produtividade Operação Herbicida</i>	<i>41</i>
<i>4.1.2. Análise de Produtividade das Operações de Nutrição (Vinhaça Localizada ou Adubação Mineral)</i>	<i>43</i>
<i>4.1.3. Análise de Produtividade de Operações de Corretivos</i>	<i>46</i>
<i>4.1.4. Análise de Produtividade de Todas as Operações</i>	<i>47</i>
4.2. Fatores não gerenciáveis	49
<i>4.2.1. Clima</i>	<i>49</i>
<i>4.2.2. Solos</i>	<i>54</i>
<i>4.2.3. Variedades</i>	<i>57</i>
5. CONCLUSÃO.....	62
5.1. Implicações Gerenciais.....	63
REFERÊNCIAS	64

1. INTRODUÇÃO

A cana de açúcar é muito importante para o agronegócio brasileiro devido aos fatores econômicos, financeiros e produtivos. O Brasil é um importante player na cadeia de produção de açúcar e energia (EMBRAPA, 2022).

Conforme Rodrigues (2018), as análises das tendências do agronegócio brasileiro sugerem crescimento de 2,5% ao ano de 2016/2017 a 2029/2030. Isso representa aproximadamente 53 milhões de tonelada de produção para a próxima década. A produção de açúcar passará de 10,8 milhões de toneladas mapeadas na safra 2016/17 para 13,8 milhões na safra 2029/30. Volume exportado na casa de 39 milhões de toneladas. Segundo a CONAB (2020) a agroindústria opera numa conjuntura positiva e sustentável, diferente de outros países.

Além disso, no mercado interno, a produção de etanol proporcionou as condições adequadas para o aumento do seu uso na gasolina, incentivou o aumento das frotas dos carros flex e, através dos subprodutos do processo produtivo (bagaço), tem sido uma singular fonte de energia. Conforme Acordo de Clima de Paris (COP 21), a produção do etanol apresenta importantes benefícios dentre eles, “a substituição da gasolina em carros, possibilitando a redução da pegada de carbono e consequentemente menor emissão de gases de efeito estufa” (EMBRAPA, 2022).

Tendo em vista as projeções animadoras para o setor, a otimização das operações e a busca de melhoria da rentabilidade deve ser objetivo da gestão agrícola. Assim sendo, torna-se crucial melhorar o planejamento no curto, médio e longo prazo e uma das formas de se conseguir tal objetivo é melhorar a programação, tornando-a mais assertiva e aderente aos processos operacionais.

Os fatores de produtividades vão desde a adoção de técnicas na implantação do canavial, às precipitações pluviométricas, os tipos de solos, variedades das cultivares, do tipo de operação e da época correta de aplicação (VITTI & MAZZA; 2002). Os mesmos autores ponderam sobre os cuidados e os desafios envolvidos nas fases da safra: inicial, intermediária e final. Sendo, respectivamente, de abril a meados de junho, de meados de junho a fim de agosto e de setembro a dezembro. Onde a produtividade é influenciada por, além dos pontos considerados anteriormente, luminosidade e o friabilidade do solo. Assim sendo, os estudos

agronômicos mostram, que o fator tempo ou época ideal de aplicação tem relevante papel na produtividade e na longevidade do canavial.

A compreensão dos leads times das operações favorecem a otimização das estruturas de custos, de mão de obra, além do sequenciamento e priorização adequada das operações de tratos culturais.

Deste modo, a questão em estudo desta pesquisa debruçou sobre se é possível obter retorno em produtividade realizando a programação das operações de tratos culturais em cana soca baseando-se em lead time.

Foram analisados os registros das safras 2021/2022, 2022/2023 e 2023/2024 identificando as áreas com perfis equivalentes de solo, variedades e tratamentos. Identificada data de colheita e a data de aplicação das operações de herbicida, adubação orgânica por vinhaça ou adubação mineral, além dos corretivos de solo. Identificadas as similaridades e o tempo entre aplicação em relação ao corte, foi avaliado a produtividade média de uma safra para outra em Tonelada de Cana por hectare (TCH).

A pesquisa é um estudo de caso, por ser mais adequado ao objetivo aqui pretendido. Os levantamentos preliminares foram realizados numa empresa sucroenergética do interior paulista, na mesorregião de São Jose do Rio Preto.

1.1. Objetivos

Este trabalho tem por objetivo geral analisar os impactos da metodologia de programação das operações de tratos culturais de cana soca e os leads times das operações, considerando se a adoção dos leads times gerou aumento de produtividade e como a adoção deles impactou as operações de tratamento da cana soca.

Para atender ao objetivo geral foi formulada a seguinte questão de pesquisa: há, de fato, retorno em produtividade quando se programa e se realiza as operações de tratos culturais em cana soca a partir da metodologia de lead time?

1.2. Objetivos Específicos

Deste modo, os objetivos específicos foram:

1.2.1. Coletar e analisar dados da empresa estudada para verificar se eles confirmam o que é preconizado na literatura agronômica;

A empresa, foco deste estudo de caso, utiliza a metodologia de lead time nas operações de tratos culturais a partir da safra 2020/2021, com a hipótese de que esta prática retorna em produtividade. Assim, com o uso do que é preconizado pelos estudos agronômicos, buscou-se coletar, analisar e validar os dados que envolvem as definições da implantação da metodologia.

1.2.2. Identificar as áreas do trato da cana soca dentro e fora do tempo especificado pela empresa;

A partir da data de colheita de cada área, feito o confronto pela data de aplicação das operações, buscou-se identificar as áreas que foram realizados tratos dentro e fora do lead time. Este processo foi necessário para capturar as áreas aderentes à metodologia do lead time.

1.2.3. Comparar a produtividade destas áreas;

Este processo de comparação de produtividade visou capturar se houve diferença real quando se aplica dentro do lead time e quando se aplica fora do lead time e quanto isto representa em produtividade.

1.2.4. Avaliar os impactos da adoção da metodologia nas operações da empresa.

Além da avaliação da produtividade, o intuito neste ponto foi identificar outros impactos que porventura houve na adoção da metodologia de lead time nas operações de tratos culturais.

1.3. Justificativa

Para atingir estes objetivos, foram necessários compreender os dados e as variáveis agronômicas, sejam elas gerenciáveis ou não, combinadas com conhecimento prático de gestão administrativa, especialmente o Planejamento, Programação e Controle da Produção (PPCP), que contribui para a melhoria da tomada de decisão nos processos agroindustriais.

Para isto, além da revisão da literatura com base em artigos, dissertações e teses, foram utilizados os referenciais técnicos agronômicos que versam sobre as questões nutricionais da planta e do solo.

Há poucas referências de trabalhos que relacionam de maneira direta a metodologia de lead time das operações com a produtividade na cana-de-açúcar. Foi realizada uma pesquisa nas bases Scopus e Web of Science, em inglês, inicialmente sem refinamento de filtros e posteriormente aplicado filtro de data de 2018 até 2024 com as seguintes palavras:

Consulta 1 - “cana-de-açúcar” e “tratos culturais” e “produtividade” (sugarcane AND cultivation AND productivity): Na base Scopus retornou quatrocentos e oitenta e dois (482) trabalhos, sendo duzentos e setenta e seis (276) até 2018. Na base Web Of Science retornou setecentos e treze trabalhos (713), onde quatrocentos e sete (407) são até 2018.

Consulta 2 - “cana-de-açúcar” e “tratos culturais” e “produtividade” e “lead time” (sugarcane AND cultivation AND productivity AND lead AND time): Na base Scopus retornou cinco (5) trabalhos no total e apenas dois (2) até 2018. Na base Web Of Science foram onze (11) trabalhos e apenas quatro (4) até 2018.

Isto mostra que apesar de ter um importante volume de trabalhos que relacionam tratos culturais e produtividade da cana-de-açúcar, pouco se tem os que relacionem também o lead time das operações.

O aumento da produtividade e até mesmo a redução da consequente perda de produtividade é o objetivo das empresas agrícolas, especialmente as unidades sucroenergética que trabalham com uma cultura semi-perene.

Desta forma, esta dissertação se justifica por no mínimo três fatores: a) Contribuir na maneira de se programar as operações de tratos culturais – de forma coordenada para suprir as necessidades nutricionais da planta e do solo, aplicando em tempo oportuno com uso eficiente de recursos; b) Satisfazer ou não a hipótese utilizada pela empresa – de que há retorno de produtividade quando se faz operações de tratos culturais o mais próximo da colheita; e c) Dar subsídio acadêmico para futuros trabalhos sobre este tema.

1.4. Delimitação do trabalho

A pesquisa foi realizada em uma das unidades de um grupo sucroenergético situada na região noroeste do estado de São Paulo. Conforme a Figura 1, que mostra o mapa da Mesorregião de São José do Rio Preto com destaque à cidade de Olímpia, local deste estudo.

Figura 1 - Mapa da Mesorregião de São José do Rio Preto



Fonte: IEA (2017)

Delimitou-se utilizar como variável principal de análise os tratos em cana soca herbicida (1ª aplicação de herbicida após a colheita), corretivo (calcário e gesso agrícola) e a adubação por vinhaça ou fertilizante mineral. Portanto, não foi levado em consideração de análise as operações em preparo de solo ou cana planta (estágio de formação da cultura que vai do plantio ao primeiro corte, ou primeira colheita) e outras operações de cana soca como catação, capina, carpa, enleiramento e aplicação de inseticida terrestre e/ou aérea.

Foi analisado os dados e resultados das safras 2019/2020 a 2023/2024 de blocos colhidos e aplicados neste período. Por blocos, deve-se compreender as áreas cultivadas com a cultura de cana de açúcar pela empresa, sejam próprias, ou seja, que pertencem à empresa, ou não.

Utilizou-se como critério de análise o que foi realizado dentro e fora do lead time estabelecido pela unidade, que teve informação de TCH atribuído e data de colheita especificada. A medida de produtividade utilizado foi tonelada de cana por hectare (TCH).

Por serem dados sensíveis não foram considerados na pesquisa características dos insumos utilizados, as estratégias de aquisição, as estruturas e características de equipamentos aplicadores, os índices de infestação dos blocos, as tecnologias embarcadas, a estrutura de mão

de obra, assim como informações de custos e gastos e o método detalhado utilizado pela empresa para o planejamento agrícola.

Há fatores não gerenciáveis que impactam diretamente a produtividade do canavial como clima, o solo e controle de daninhas, esta pesquisa não se ocupou em detalhar estes fatores.

1.5. Estrutura do Trabalho

O trabalho está dividido em cinco seções. Esta primeira seção contém a introdução, com a contextualização do tema, o método de pesquisa, os objetivos de pesquisa, as justificativas do trabalho e os resultados pretendidos.

A segunda apresenta a revisão da literatura, trazendo conceitos chave tema da pesquisa, apresenta um panorama das operações agrícolas de tratos culturais com foco em tratos em cana soca. Além de fornecer dados e uma breve revisão bibliográfica do tempo característico da cana de açúcar desde a brotação à maturação, ponto importante quando for refletir sobre lead time das operações.

A terceira seção, Materiais e Métodos, descreve o local, o problema que se pretende discutir, o método e aponta o objetivo de sua realização.

Na quarta seção discutirá os resultados. E por fim, na quinta seção, as conclusões.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura tem dois propósitos: a construção de uma contextualização para o problema e a análise das possibilidades presentes na literatura consultada para a concepção do referencial teórico da pesquisa.

Inicialmente foi feita uma busca no SciVerse Scopus com as palavras-chave em inglês “planning”, “productivity”, “cultivation”, “sugarcane”, “ideal application time” ou “lead time for application” e/ou “lead time for application” para verificar se o tema de pesquisa já foi amplamente explorado ou não. Os resultados estão na Tabela 1.

Tabela 1 - Palavras-chave, base e resultados da busca de artigos

Plataforma	SciVerse Scopus
Tópicos Pesquisados	"planning" OR "agricultural planning" OR "productivity" OR "cultural practices" AND "sugarcane" AND "ideal application time" OR "lead time for application"
Resultados de Documentos 1	207
Tipo de Documento	Article
Resultados de Documentos 2	74
Categorias	"Agricultural Biological Sciences" AND "Environmental Science" AND "Social Sciences" AND "Business, Management and Accounting" AND "Economics, Econometrics and Finance"
Resultado de Documentos 3	60
Idioma	Inglês
Resultado de Documentos 4	60
Ano da Publicação	2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023
Resultado de Documentos 5	46
Países	Brasil, Índia, China e EUA
Resultado de Documentos 6	26
Total de Documentos	26

Fonte: Elaborado pelo autor

Considerou-se os países Brasil, Índia e China pois, conforme a EMBRAPA (2022) são os maiores *players* na produção de cana-de-açúcar (com destaque para o Brasil na primeira colocação). Considerou-se os EUA devido a representatividade no volume de artigos publicados no tema da pesquisa, 35%. Os artigos retornados nesta pesquisa, foram analisados e considerados apenas os tinham afinidade com o tema.

Este trabalho tem por objetivo compreender o retorno em produtividade que há pela programação de tratamentos culturais em cana de açúcar baseando-se em lead time das operações de

aplicação de herbicida, vinhaça ou cultivo mineral e corretivos. Optou-se por trazer o conceito de Produtividade, Tratos Culturais, Planejamento e Lead time.

2.1. Produtividade

O conceito de produtividade é discutido a tempos pelos expoentes da administração. Adam Smith (1723-1790), considerado o pai da economia moderna, abordou a ideia de produtividade em sua obra "A Riqueza das Nações", (1776). Argumentou que a divisão do trabalho e a especialização podem aumentar significativamente a produtividade.

Frederick Winslow Taylor (1856-1915), conhecido como o fundador da Administração Científica, defendeu a ideia de gestão eficiente do tempo e do trabalho. Propôs métodos para analisar e melhorar os processos de produção, buscando alcançar a máxima eficiência.

Peter Drucker (1909-2005), um influente teórico da administração, enfatizou a gestão do conhecimento e a eficácia organizacional. Argumentou que a produtividade não deve ser vista apenas em termos de eficiência operacional, mas também em relação aos objetivos e à contribuição para a missão organizacional.

W. Edwards Deming (1900-1993), reconhecido por suas contribuições para a qualidade e gestão, enfatizou a importância da melhoria contínua. Desenvolveu princípios que visavam aumentar a qualidade e, por consequência, a produtividade.

Erik Brynjolfsson e Andrew McAfee (2014), autores contemporâneos, conhecidos por seu trabalho sobre a era digital, destacam a relação entre tecnologia da informação e produtividade. Em obras como "A Segunda Era da Máquina" (The Second Machine Age), eles exploram como a tecnologia impacta a produtividade em um mundo cada vez mais digitalizado.

Segundo Paladini (2019), produtividade é a relação entre a quantidade de bens ou serviços produzidos e os insumos utilizados no processo de produção. Em outras palavras, é uma medida de como recursos como trabalho, capital e materiais são convertidos em produtos ou serviços. Considerando também que a produtividade é um conceito fundamental relacionado ao desempenho organizacional e à eficiência dos processos.

O autor ainda faz distinção entre produtividade e eficiência, pois a eficiência refere-se à otimização dos processos e recursos, enquanto a produtividade é uma medida quantitativa dessa produção. A melhoria da produtividade é essencial para a competitividade das organizações e pode ser alcançada por meio da implementação de práticas de gestão da qualidade que visam reduzir desperdícios, melhorar processos e aumentar a satisfação do

cliente. Em um contexto mais amplo, pode ser aplicada a diversos setores, como economia, negócios, agricultura, educação e até mesmo no âmbito pessoal.

Campos & Shigunov Neto (2016, p. 79) diz que a produtividade representa o valor dos resultados (produtos e serviços) dividido pelo valor dos insumos (salário, custos dos equipamentos, matérias-primas etc.) utilizados. Os mesmos autores, dizem que a produtividade está diretamente relacionada à capacidade de produzir mais com menos recursos, sejam eles tempo, dinheiro, mão de obra ou materiais. A melhoria da produtividade geralmente leva a um aumento na eficiência e na eficácia das operações.

Alguns fatores podem contribuir para a aumento de produtividade. Conforme a FAO (2018) a tecnologia pode transformar a agricultura, promovendo a eficiência e a sustentabilidade. A adoção de tecnologias inovadoras muitas vezes resulta em processos mais eficientes e rápidos.

Além disso, segundo Laudon (2018), ao falar da gestão das operações, destaca que a gestão eficiente com uso de tecnologia auxilia na tomada decisão. Assim como Paladini (2019) ao discutir sobre a produtividade e os sistemas de gestão da qualidade, diz que a gestão da qualidade, através da melhoria contínua dos processos, promove aumento de produtividade.

O aumento de produtividade pode ser potencializado pelo investimento em conhecimento das equipes. Noe (2017) destaca que investir em treinamento e desenvolvimento dos colaboradores pode melhorar suas habilidades e conhecimentos, resultando em maior eficiência no trabalho. Colaboradores bem treinados executam suas tarefas de maneira mais eficiente, reduzindo erros e aumentando a produção.

Rother (2021) aborda que mapear e otimizar processos, reduzindo retrabalho e melhorando a eficiência operacional produz maior produtividade. Ter procedimentos claros e eficientes ajuda a evitar retrabalho e minimizar erros.

Macedo (2012), conceitua produtividade como sendo a capacidade da empresa gerar “produto” no seu processo produtivo. Dizendo que o conceito de produtividade vai além dos aspectos restritos da produção e se espalha por todas as áreas de uma organização.

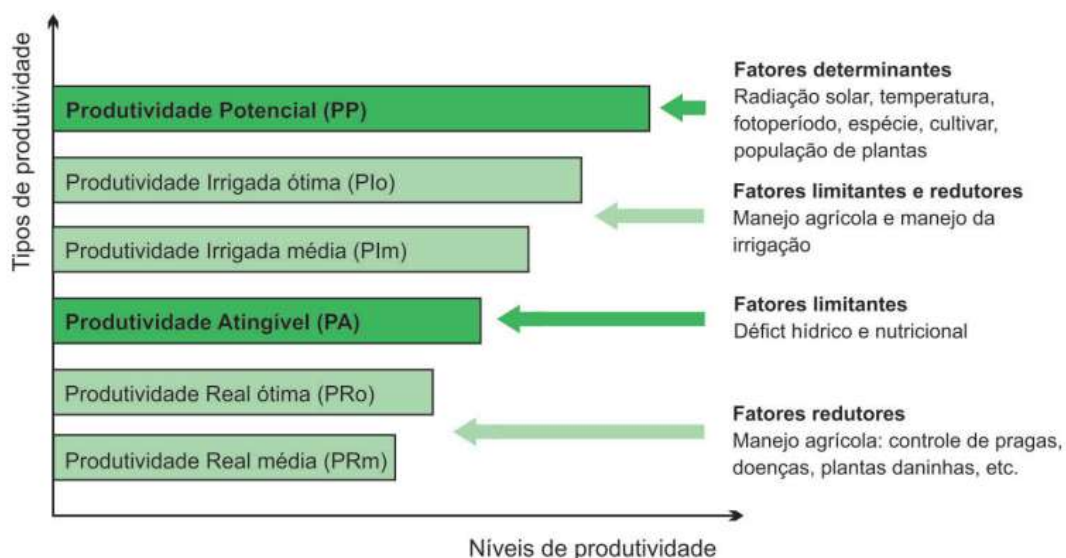
Esses autores fornecem diferentes perspectivas sobre a produtividade, abordando aspectos como a divisão do trabalho, a eficiência operacional, a gestão do conhecimento e o papel da tecnologia. Cada um contribuiu para moldar a compreensão e a aplicação do conceito de produtividade em suas respectivas áreas de estudo.

Monteith (1977), ao tratar da produtividade no âmbito agroindustrial, propôs que a produtividade de uma cultura é influenciada por pelo menos quatro fatores: (i) pesquisa e desenvolvimento: soluções via inovação com foco em aumentar a produtividade; (ii) efeitos institucionais: ações externas e alheias à produtora; (iii) processos físicos: a relação solo-água-planta; e (iv) processos estruturais: relacionados à prática dos manejos adotados.

Vitti (2002), comprovou que a cana-de-açúcar não suporta períodos longos de estiagem e a produtividade fica comprometida por fatores não gerenciáveis.

Na mesma esteira, Sentelhas (2016) pondera sobre a relação entre o déficit hídrico e o impacto direto na cultura. O mesmo autor propõe pelo menos seis tipos de produtividade, conforme Figura 2: (i) produtividade potencial; (ii) produtividade irrigada ótima; (iii) produtividade irrigada média; (iv) produtividade atingível; (v) produtividade real ótima; e (vi) produtividade real média.

Figura 2 - Tipos de Produtividade (Potencial e Atingível) com Fatores determinantes, limitantes e redutores



Fonte: Sentelhas (2016)

Nesse sentido, a produtividade é influenciada e afetada positiva e negativamente por fatores determinantes, limitantes e redutores. Os dois primeiros são extremamente não gerenciáveis e o último muito mais gerenciável no impacto de produtividade. O autor, ao falar sobre a quebra de produtividade (*yield gap*) da cana-de-açúcar, observou que a quebra, ou seja, a redução da produtividade por fatores não gerenciáveis (clima, temperatura, déficit hídrico e

nutricional) representam 75,6% na média nacional e por questão de manejo, ou seja, o conjunto de atividades e operações que visa incrementar produtividade, melhorar a qualidade e agregar valor à matéria prima, representam 24,4% de perda.

A medição da produtividade pode variar dependendo do contexto. Em termos econômicos, a produtividade é frequentemente medida como a produção por hora trabalhada. Em ambientes de escritório, pode ser medida pela quantidade de trabalho realizado em um determinado período. Porém, conforme EMBRAPA (2022), a produtividade da cana de açúcar é medida em termos de tonelada de cana por hectare (TCH). Baracat Neto (2015) traz, além do conceito de TCH expresso da produtividade agrícola, a medida de qualidade tecnológica (açúcar total recuperável – ATR), medida de suma importância para pagamento aos fornecedores e a medida resultante da combinação entre TCH e ATR, ou seja, tonelada de açúcar total recuperável por hectare (TAH).

A combinação entre clima, solo e variedades determinam a produtividade da cana-de-açúcar; e o controle apropriado de pragas e daninhas evita a sua redução. Em resumo, a produtividade é um conceito amplo que se concentra na eficiência e na eficácia na realização de tarefas e na geração de resultados, utilizando efetivamente os recursos disponíveis.

2.2. Tratos Culturais

Segundo a EMBRAPA (2022) tratos culturais refere-se ao conjunto de práticas agrícolas que proporcionam melhores condições para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Anjos e Silva, et al. (2017), corrobora dizendo que os tratos culturais devem ser feitos durante todas as fases da cultura. E menciona o propósito, que é, restaurar as propriedades físicas e químicas do solo; eliminar ou reduzir a ocorrência das plantas daninhas; conservar os sistemas de controle de erosão; controlar pragas ou doenças eventuais. A soqueira representa em média setenta e cinco por cento da cana cortada e conseqüentemente da produção total.

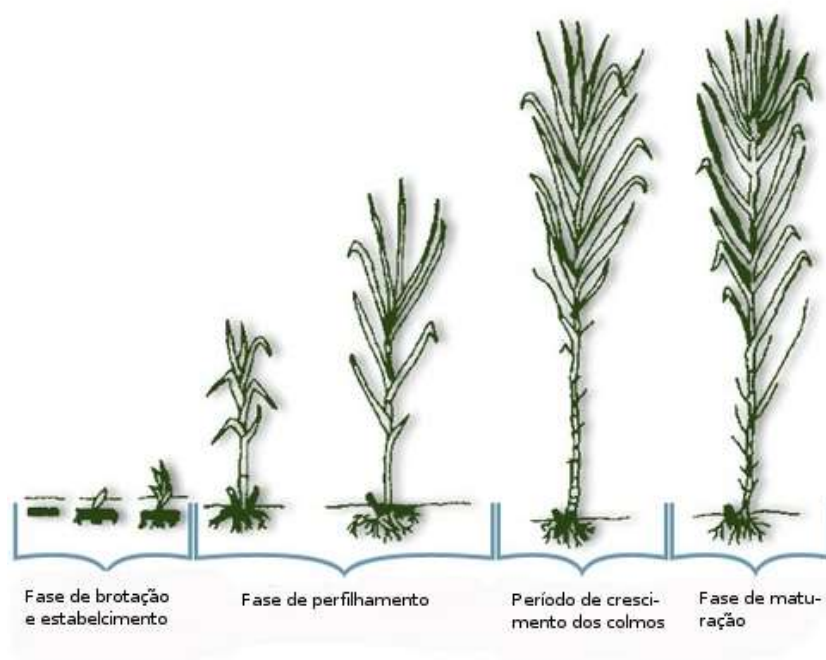
Conforme mencionado anteriormente, as atividades de tratos culturais ocorrem em todas as fases da cultura. Ou seja, no preparo de solo, na cana planta e em cana soca. Conforme EMBRAPA (2022) “o planejamento agrícola acontece antes do plantio e não termina após a colheita” e tem forte impacto de importância na exploração econômica da empresa. Mas, conforme proposto nos objetivos deste trabalho, o foco será nas operações de tratos culturais em cana soca, que difere das outras fases da cultura.

2.2.1. Tratos Culturais em Cana Soca

Conforme EMBRAPA (2022), a cana-de-açúcar possui pelo menos quatro estádios de desenvolvimento que vai do plantio a brotação das gemas, da brotação das gemas até o final do perfilhamento, do final do perfilhamento até o início da acumulação de açúcar e, a partir disso, até a maturação.

A Figura 3 mostra as fases de desenvolvimento da Cana de Açúcar, onde a brotação das gemas acontece entre três e cinco semanas após o plantio, dependendo da variedade da cana e época do plantio, tratos realizados com foco em pragas e doenças, clima e qualidade do plantio.

Figura 3 - Fases de desenvolvimento da Cana de Açúcar



Fonte: EMBRAPA (2022)

Após a brotação da gema, é necessário, em média, quatro meses para alcançar o limite de perfilhamento. Entende-se por perfilhamento o processo que resulta no crescimento de brotos que vão em direção à superfície do solo. Esses brotos aparecem de vinte a trinta dias após a emergência do colmo primário. Por meio desse processo, ocorre a formação da touceira da cana-de-açúcar e a população de colmos que será colhida.

O terceiro estágio de desenvolvimento, segundo EMBRAPA (2022), está entre o perfilhamento inicial até a acumulação de açúcar. Os fatores climáticos nesta, como em outras

fases, são cruciais. A quantidade de radiação solar está diretamente relacionada a capacidade de fotossíntese e crescimento da planta.

Camp & Gollan (2022) ao falar dos impactos da temperatura na cana-de-açúcar sugerem que os fatores climáticos, nesse caso a temperatura, são preponderantes no desenvolvimento da planta, sendo as médias ideais entre 20° e 30°C.

Souza (2023), ao discorrer sobre os efeitos da precipitação na produtividade da cana-de-açúcar descreve que as médias ideais de chuvas são entre 1.200 mm e 2.000 mm de precipitação anual. A falta de recursos hídricos pode gerar a “mumificação” e, o excesso, a fermentação das gemas.

No quarto e último estágio de desenvolvimento, a cana-de-açúcar está prestes a completar seu ciclo, paralisa o crescimento e inicia a concentração de açúcares (frutose, glicose e sacarose), as folhas tornam-se amareladas e a planta ganha a coloração característica. A planta cresce, o teor de açúcar aumenta paulatinamente no decorrer do processo até que os níveis de concentração de açúcar se estabilizem. Em canas plantadas em época seca, o estágio de maturação se dará em época úmida, por este motivo existe a necessidade de intervenção química no amadurecimento da planta.

Em todos estes estágios, os fatores de clima, o tipo de cultivar, o solo e a eficiência do manejo fazem total diferença para produtividade do canavial. Isso dura dezoito meses para cana planta e doze meses para cana soca. Assim, ao atingir o estágio de maturação esperado, a cana está em condições de colheita. Colheita esta que pode ser “manual” – onde a cana sofre queima e posteriormente corte feito por facão por trabalhadores rurais, ou “mecanizada” – feito por máquinas agrícolas denominadas colhedoras.

Há mais de duas décadas no Estado de São Paulo vigora a lei para redução e proibição das queimadas nos canaviais através da lei nº 11.241, de 19 de setembro de 2002, com objetivo de reduzir emissão de gases de efeito estufa.

Em média são entre 4 e 5 cortes ou mais dependendo do nível de produtividade da cultura. Após o primeiro corte, a cana é denominada cana soca e ressoca a cada colheita realizada. À medida que os cortes se sucedem, há uma queda natural do rendimento agrícola. Esta redução provoca a erradicação do canavial após o quarto ou quinto corte, demandando investimentos em novos plantios.

A longevidade e a produtividade são influenciadas por diversos fatores, dentre eles: cultivar, clima, praga e daninhas, fertilidade do solo, método de colheita e práticas de tratamentos culturais.

Silva & Costa (2021), ao falarem sobre o manejo e produtividade exploram como a aplicação de práticas de manejo adequado, incluindo o tempo e a quantidade de insumos e cuidados, influenciam diretamente a produtividade da cana-de-açúcar.

Da mesma maneira Marin (2014), detalha técnicas de manejo eficaz, abordando como realizar práticas no tempo adequado e em quantidades apropriadas para atender às necessidades da planta e, assim, aumentar a produtividade.

Que corroboram com os estudos de Roberts (2009), sobre o fundamento das Boas Práticas para Uso Eficiente de Fertilizantes (BPUFs), que diz que aplicar a fonte certa, na dose certa, na época certa e no lugar certo (4 C) são as práticas necessárias para o manejo sustentável da nutrição das plantas e para o aumento da produtividade das culturas.

2.3. Gestão das Operações

A gestão das Operações refere-se ao planejamento, organização e controle de processos de produção e operações em uma organização para alcançar eficiência e eficácia. Envolve a gestão de recursos, como pessoas, equipamentos, materiais e informações, para produzir bens e serviços de forma eficiente e atender às necessidades dos clientes.

Conforme define Negro et al. (2016) gestão das operações como o campo da administração que lida com a concepção de projetos, controle dos processos de produção, além de garantir que a empresa produza eficientemente os bens e serviços necessários para atender às demandas do mercado.

2.3.1. Gestão Agroindustrial

Batalha (2021), ao falar da gestão agroindustrial, abrange uma série de atividades e processos relacionados à produção agrícola e industrialização de produtos agrícolas. Dentre eles estão:

1. Planejamento Agrícola: Isso envolve decisões sobre quais culturas plantar, quando plantar, métodos de cultivo, uso de insumos agrícolas e tecnologias adequadas para otimizar a produção.

2. **Gestão de Recursos:** Isso inclui a gestão eficiente de recursos naturais, como solo e água, bem como recursos financeiros, humanos e tecnológicos.
3. **Logística Agrícola:** Envolve o transporte eficiente de produtos agrícolas do campo para as instalações de processamento ou para o mercado. Isso também inclui o armazenamento e manuseio adequados dos produtos para garantir sua qualidade.
4. **Processamento Industrial:** Esta etapa envolve o processamento dos produtos agrícolas brutos em produtos prontos para consumo. Pode incluir atividades como moagem, trituração, fermentação, destilação, entre outros processos, dependendo do tipo de produto.
5. **Controle de Qualidade:** Garantir que os produtos atendam aos padrões de qualidade e segurança alimentar é crucial na gestão agroindustrial. Isso envolve o monitoramento rigoroso em todas as etapas do processo, desde o cultivo até a distribuição.
6. **Marketing e Distribuição:** Determinar os canais de distribuição mais eficazes e desenvolver estratégias de marketing para promover os produtos agrícolas e alcançar os consumidores finais.
7. **Gestão Ambiental:** Cuidar do meio ambiente é uma preocupação crescente na gestão agroindustrial. Isso inclui práticas agrícolas sustentáveis, minimização de resíduos e emissões, conservação de recursos naturais e adoção de tecnologias limpas.
8. **Aspectos Regulatórios e Legais:** Cumprir regulamentações governamentais e normas da indústria é essencial para operar dentro do quadro legal e garantir a conformidade com padrões de segurança e qualidade.

A natureza específica da gestão pode variar dependendo do tipo de produto agrícola, das práticas locais e das demandas do mercado.

2.3.2. Planejamento

Castro (2015), conforme a Figura 4, mostra que o planejamento é dividido em três níveis dentro de uma empresa: institucional (estratégico), intermediário (tático) e operacional. E considera que o prazo é a base para a execução do processo. Que envolve análises e decisões.

Figura 4 - Níveis de Planejamento



Fonte: Pegg (2012)

Enquanto o planejamento estratégico está relacionado aos objetivos direcionadores da empresa, o tático define como estes objetivos serão alcançados por meio de ações estratégicas e políticas da unidade para os departamentos específicos. Já o planejamento de nível operacional se preocupa em definir o que será feito, com que recursos, em que prazos, onde e por quem será feito.

2.3.3. Planejamento Operacional Agrícola

O planejamento agrícola, depende invariavelmente de premissas técnico agrônômicas, informações climáticas, dimensionamento de estrutura de equipamentos, de pessoas e áreas seja para plantio, seja áreas liberadas para tratos após o corte.

Nobre & Oliveira (2018) ao falar sobre o PPCP agrícola, ou seja, Planejamento, programação e controle da produção agrícola, destaca que “deve-se observar fatores internos como o tamanho da propriedade, rendimento de cultivos/criações, produtividade, seleção e combinação de atividades produtivas, eficiência de manejo e capacidade para produzir. Dentre os fatores externos pode-se citar o preço de produtos e o clima”.

Dentre as premissas agrônômicas, informações do solo, estágio da planta, tipo de planta, necessidade nutricional do solo e da planta, pragas e daninhas tipos de insumos, tempo de corte, tipo de cultivar são fundamentais para a tomada de decisão operacional. Além destes

inputs que é muito comum para a maioria das atividades agrícolas, existe também o lead time operacional ideal de cada fazenda a partir da data de colheita.

Este trabalho dará foco ao planejamento operacional em tratos culturais. Mais especificamente nos tratos da cana soca. O planejamento operacional de tratos culturais focaliza os timings nutricionais da planta, o crescimento vegetativo, as oscilações climáticas e as inúmeras variáveis não gerenciáveis de caráter agrônômica de maneira a otimizar os recursos, dimensionar as estruturas de tal forma que atenda os custos da operação e a demanda agrônômica da matéria prima.

2.4. Lead time

Albino (2017), ao tratar do lead time na engenharia de desenvolvimento de software, diz que Lead time é o tempo de atravessamento de um item a partir dos limites de entrada e saída definidos no processo de desenvolvimento”.

O mesmo autor faz referência ao lead time ao que geralmente é mais conhecido, e onde, de fato, foi emprestado o termo, que é a referência da indústria. No qual o lead time representa a latência entre a iniciação e a execução de um processo. Faz ainda distinção entre “lead time” de “cycle time”, dizendo que o segundo é uma medida de quantidade de itens por uma medida de tempo.

Marchwinski (2011), traz o conceito como sendo a frequência que um produto é finalizado em um determinado processo como sendo o tempo de ciclo e o tempo necessário para um produto percorrer todas as etapas de um processo, ou fluxo de valor, do início ao fim, como Lead time. Como pontuado, este tempo é emprestado especialmente da indústria e permeia os estudos de Gestão e Administração a anos.

Para este trabalho, porém, o termo lead time será denominado como sendo o período crítico entre a data de colheita e a data de aplicação das operações de tratos culturais. Constitui de um período crítico para as operações de herbicida, por exemplo, devido a exposição da área e aumento da possibilidade de uma cultura infestante que concorrerá com a planta por solo, sol, água e nutrientes necessários para seu desenvolvimento.

É crítico para a adubação devido as necessidades nutricionais da planta. E é crítico para a correção de solo devido o tempo da reação dos condicionadores de solo. Por este motivo, a operação de menor tempo de necessidade de entrada, ou seja, aplicação de fato, execução da

atividade, e que é colocada como prioridade no dimensionamento das atividades é a operação de aplicação de herbicida.

Conforme as contribuições de Silva & Costa (2021) um dos principais fatores do uso eficientes de fertilizantes, é a época certa de aplicação. Assim, todas operações de tratos dependem, são influenciadas e afetadas pelo fator tempo.

A unidade estudada utiliza a lógica da última pesagem para determinar a data base que é considerada a operação de colheita. Ou seja, inicia-se a operação de colheita, transbordo e transporte para unidade industrial de moagem, e mede-se pela última data do último caminhão da área colhida. Deste modo, o *input* para início das atividades de tratos culturais é a última data.

2.4.1. Metodologia de Lead time adotada pela empresa

O Lead time foi a forma utilizada pela empresa para medir e acompanhar o desempenho das operações e garantir o atendimento às necessidades nutricionais da matéria prima. O processo de implantação do Lead time compreendeu: 1- um estudo denominado “Curvas de Priorização”; 2- Análise de lead time que traz os dias ideais de aplicação por operação; 3- A definição das metas para computar aderência e; 4- Formas de Acompanhamento corporativo.

Este estudo foi um projeto desenvolvido pelo setor de inteligência analítica e o autor teve participação como suporte de análise sendo ponto focal do setor de tratos culturais em três das quatro etapas de desenvolvimento do projeto. Sendo que na etapa inicial, desenvolvimento das Curvas de Priorização, com serviço de validação, análise e crítica dos dados. Na etapa de definição das metas, com análise estatística da meta da unidade e por fim, na etapa de acompanhamento, serviço de controle, lançamentos para ajuste do modelo junto ao time de desenvolvimento.

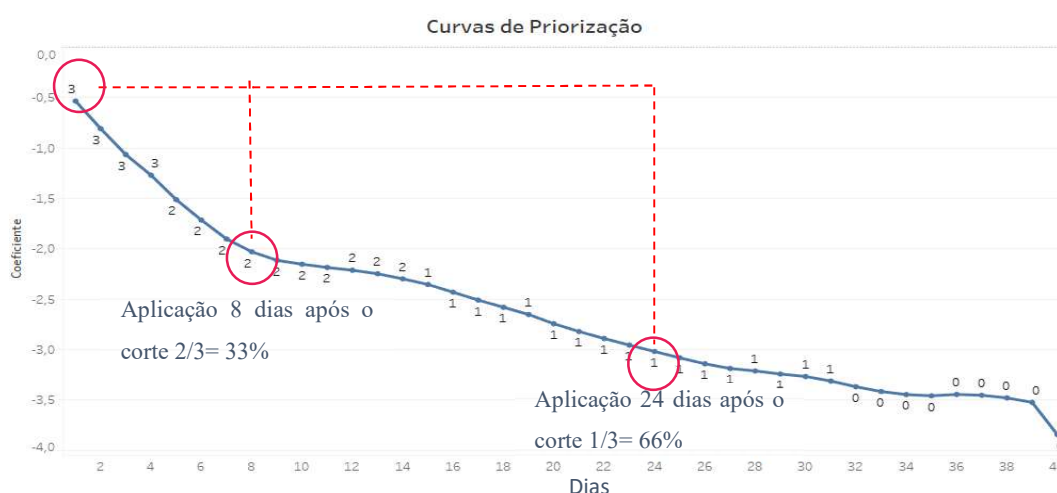
2.4.2. Curvas de Priorização

O projeto avaliou os históricos de aplicações das safras anteriores, atribuindo coeficiente denominado Curvas de priorização, observou-se as datas de colheita, época do ano, datas de aplicações, local, corte, operações, ambientes, tipos de variedades e produtividade anterior e posterior, identificou-se, conforme Gráfico 1 que:

1. Quando se aplica até oito dias após a colheita, tem a tendência de perda de TCH até 33% em relação à safra anterior;
2. Quando se aplica entre oito e vinte e quatro dias, dependendo do solo e da cultivar, a tendência de perda de TCH pode chegar a dobrar para 66%.

Devido confidencialidade dos dados, este trabalho utilizará apenas a informação das curvas gerais, que sintetiza as informações de todas as operações.

Gráfico 1 - Curvas de Priorização



Fonte: Estudo conduzido pela empresa estudada

2.4.3. Análise e definição de time Padrão

A partir da hipótese advinda da Curvas de Priorização, e com intuito de medir, acompanhar e controlar as atividades de tratos culturais, a empresa construiu a métrica de lead time por operação baseando-se no realizado das safras anteriores, onde pode-se avaliar o perfil e o comportamento estrutural da empresa, avaliar as particularidades nutricionais e climática e submetendo estas avaliações à experiência da equipe multidisciplinar elencada para este propósito, com envolvimento da liderança agrônoma e do setor de inteligência, onde pode ajustar o modelo para um padrão que atenderia ao grupo.

Uma destas particularidades foi considerar a diferença de tempo para tratamentos nos meses de junho, julho e agosto, época seca com menos luminosidade e onde o crescimento vegetativo da planta é reduzido. E assim, gerou-se uma base contemplando o lead time das operações de tratos culturais em cana soca mês a mês. A tabela 2 mostra um extrato desta base

que contém os leads time das operações de corretivos de solo, adubação mineral e orgânica via vinhaça e aplicação de defensivos, foco desta dissertação.

Tabela 2 - “lead time” para operação de aplicação de herbicida, corretivo e fertilizantes

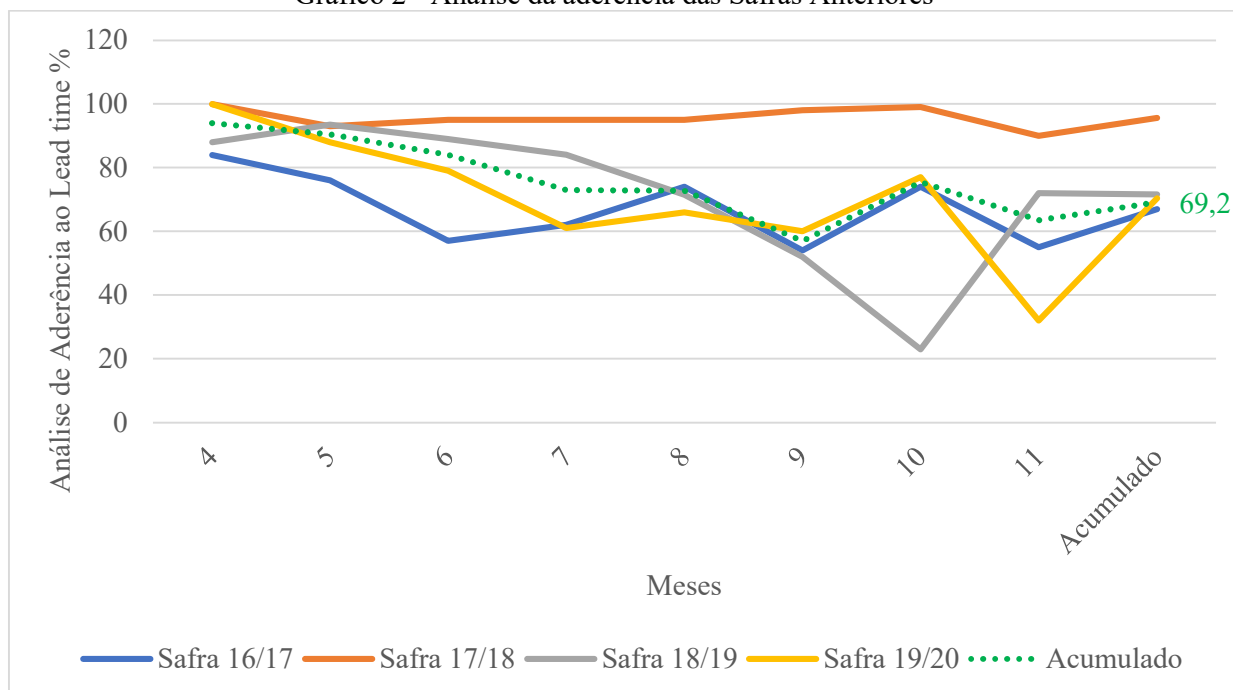
Operação	Dias após a colheita							
	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Corretivo de solo	27	27	30	30	30	27	27	27
Cultivo – Adubação Mineral	27	27	35	35	35	27	27	27
Vinhaça – Adubação Orgânica	25	25	25	25	25	25	25	25
Aplicação de Herbicida	15	15	20	20	20	15	15	15

Fonte: Estudo conduzido pela empresa estudada

2.4.4. Definição de Metas de aderência

A segunda entrega das análises das curvas de priorização foi a meta de aderência de priorização de tratos, conforme Gráfico 2. Esta meta levou em consideração as aplicações das safras anteriores e por análise estatística de capacidade, expurgados os extremos (outliers) e considerado a média dos valores centrais, definiu-se a meta para a safra 2020/2021.

Gráfico 2 - Análise da aderência das Safras Anteriores



Fonte: Estudo conduzido pela empresa estudada

A Tabela 3 traz a análise de projeção do atendimento geral de aderência ao lead time realizado das safras anteriores. Esta análise serviu para determinar a meta geral do lead time da empresa.

Tabela 3 - Análise de Capabilidade Meta

	Metas	Capabilidade
Análise de Aderência	69,2	63%
Capabilidade +3%	71,3	55%
Capabilidade +6%	73,3	48%
Capabilidade +10%	76,1	34%

Fonte: Estudo conduzido pela empresa estudada

A partir destas informações, foi definido inicialmente como meta de aderência ao lead time 72% para operações de tratos culturais em cana soca na safra 2020/2021 e a partir da safra 2021/2022, fazendo o mesmo exercício de análise de capabilidade, a meta foi ajustada para 85%.

2.4.5. Acompanhamento das Aderência ao Lead Time

A partir destas definições, gerou-se um controle de aplicação através de relatório de aderência ao lead time. Este relatório é formado de gráficos e tabelas de aderência por local (Bloco), operação, unidade, grupo, semanal, mensal e acumulado safra. A Tabela 4 é um dos exemplos desta visão de acompanhamento.

Tabela 4 - Visão de Acompanhamento de Aderência por Bloco

Operação	Bloco	Data Colheita	Data Aplicação	Lead Time (Dias)	Lead Time Real (Dias)	Aderência (%)	Área Total (ha)
Aplicação de Herbicida	Bloco 18	17/04/2021	25/04/2021	15	8	100%	31
Aplicação de Herbicida	Bloco 17	19/04/2021	29/04/2021	15	10	100%	24
Aplicação de Herbicida	Bloco 14	23/04/2021	29/04/2021	15	6	100%	23
Aplicação de Herbicida	Bloco 16	24/04/2021	29/04/2021	15	5	100%	24
Aplicação de Herbicida	Bloco 19	24/04/2021	24/04/2021	15	0	100%	11
Aplicação de Herbicida	Bloco 1	07/06/2021	18/06/2021	20	11	100%	51
Aplicação de Herbicida	Bloco 3	09/06/2021	18/06/2021	20	9	100%	41
Aplicação de Herbicida	Bloco 4	09/06/2021	30/06/2021	20	21	0%	7
Aplicação de Herbicida	Bloco 5	19/06/2021	23/06/2021	20	4	100%	16
Aplicação de Herbicida	Bloco 6	29/06/2021	02/07/2021	20	3	100%	183
Aplicação de Herbicida	Bloco 9	30/06/2021	08/07/2021	20	8	100%	19

Aplicação de Herbicida	Bloco 15	30/06/2021	06/08/2021	20	37	0%	86
Aplicação de Herbicida	Bloco 2	01/07/2021	08/07/2021	20	7	100%	11
Aplicação de Herbicida	Bloco 7	04/07/2021	07/07/2021	20	3	100%	36
Aplicação de Herbicida	Bloco 12	27/08/2021	11/09/2021	15	15	100%	4
Aplicação de Herbicida	Bloco 11	31/08/2021	20/09/2021	15	20	0%	73
Aplicação de Herbicida	Bloco 10	01/09/2021	04/12/2021	15	94	0%	23
Aplicação de Herbicida	Bloco 8	15/09/2021	25/10/2021	15	40	0%	4
Aplicação de Herbicida	Bloco 13	25/09/2021	18/10/2021	15	23	0%	2
Área Total	(ha)						669
Área Aderência 100%	(ha)						474
Aderência Operação	(%)						70,85

Fonte: Estudo conduzido pela empresa estudada

Este acompanhamento leva em consideração a data que o bloco foi colhido, os tratos que foi planejado e a data de aplicação para calcular a aderência. Se a diferença de dias entre a data de aplicação e a data de colheita for menor que o lead time estipulado pelas curvas, significa dizer que a aplicação foi aderente. Se maior, esta aplicação torna-se inaderente, recebendo zero por cento no controle de aplicação.

Por média ponderada pela área determina-se a aderência em relação à meta estipulada. Neste exemplo hipotético da operação de aplicação de herbicida, a aderência ao lead time da atividade de aplicação de herbicidas ficaria aderente 70,85%.

3. MATERIAL E MÉTODO

Nesta seção serão apresentados a área de estudo, os materiais e metodologia empregados e as etapas de planejamento afim de contextualizar o assunto.

3.1. Área de Estudo

O estudo foi desenvolvido em uma usina sucroenergética localizada na mesorregião de São José do Rio Preto, São Paulo, Brasil. O clima da região, segundo a classificação de Köppen (1931), foi definido como Aw. Clima tropical. A pluviosidade média anual é 1309 mm. Com temperatura média do mês mais frio acima de 22.8°C, com inverno seco e chuvas máximas de verão.

A mesorregião de São José do Rio Preto é considerada uma das mais importantes produtoras de cana-de-açúcar do estado do São Paulo, ocupando a 6ª posição na safra 2022/2023 em área cultivadas para cana de corte, aproximadamente 285 mil hectares. Com produção próxima dos 22,3 milhões de toneladas. Porém, em termos de produtividade, a média da região está na casa das 78,17 t ha⁻¹, na 6ª posição entre as mesorregiões do estado de São Paulo, mas acima da média estadual que era de 76,82 t ha⁻¹, de acordo com o Instituto de Economia Agrícola (IEA).

A colheita de cana de açúcar, período denominado de safra, acontece na janela de abril a novembro nas regiões centro-oeste e sul e de novembro a abril na região norte-nordeste. Os tratamentos culturais, por ser dependente da liberação de áreas da colheita, acontecem nesse mesmo período, conforme tabela 5.

Tabela 5 - Cronograma das Operações agrícola da Usina estudada

Operações	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Colheita												
Aplicação de Herbicida												
Cultivo – Adubação Mineral												
Vinhaça – Adubação Orgânica												
Corretivo de Solo												

Fonte: Dados originais da pesquisa

3.2. Materiais

Foi realizada um levantamento de dados levando em consideração os tratos culturais em cana soca, nas safras 2021/2022, 2022/2023 e 2023/2024 das aplicações de: herbicida; fertilizante; vinhaça; e corretivo de solo.

Gil (2014) considera o estudo de caso como “um estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que seu amplo e detalhado conhecimento”. Conforme Mendonça (2014), o estudo de caso pode ser classificado, nos seguintes tipos:

- a) estudos de casos histórico-organizacionais; b) estudos de casos observacionais; c) história de vida; d) estudo de caso comunitário; e) estudos de casos situacionais; f) estudos de casos micro etnográficos; g) estudo comparativo de casos; h) multicaseos.

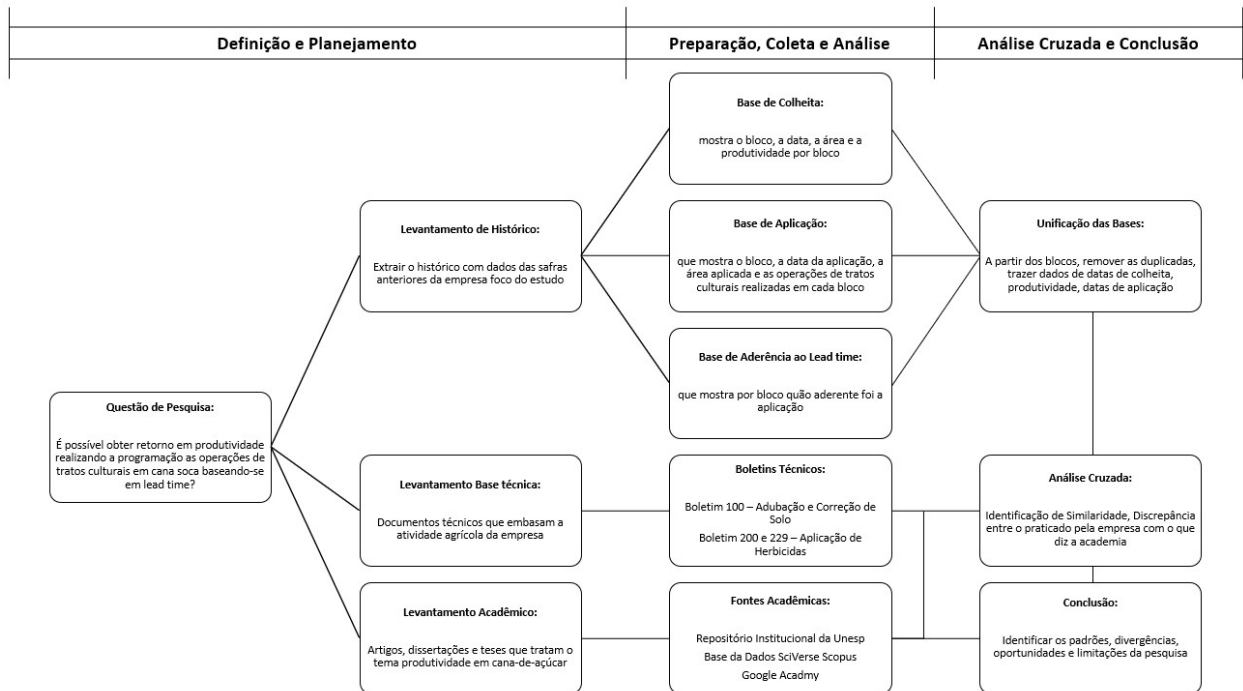
Assim, devido à natureza observacional dos componentes optou-se pelo estudo de casos observacionais. Onde o objeto de análise são os componentes organizacionais.

Quanto a metodologia da abordagem, foi utilizado método hipotético-dedutivo. Onde, conforme Mendonça (2014), este método testa as hipóteses. O autor complementa dizendo que as hipóteses precisam ser testadas e podem ser refutadas ou não. A hipótese a ser analisada e testada é que se há retorno em produtividade quando se realiza aplicação dentro do lead time retorna em produtividade, que tem como base outra hipótese de que quanto mais próximo da colheita seja feito tratos culturais em cana soca, maior a chance de retorno em produtividade. Sendo que após a análise desta hipótese, foi possível fazer ponderações de seus resultados.

Como método de procedimento foi utilizado o comparativo tendo em vista que faz uso das informações contidas nas bases de safras anteriores, dados de aplicação e foram comparadas umas às outras. Por conseguinte, uma análise quantitativa foi proposta nos resultados de aderência ao lead time, timing das operações, produtividade média entre safras.

Deste modo, a metodologia teve três etapas, quais são: definição e planejamento; preparação, coleta e análise; e análise cruzada e conclusão conforme a Figura 5.

Figura 5 - Etapas de Metodologia Estudo de Caso



Fonte: Autor

3.3. Definição e planejamento

Nesta etapa o problema de pesquisa é o norteador para os próximos passos. Assim, a partir do problema da pesquisa, que é: é possível obter retorno em produtividade realizando a programação das operações de tratos culturais em cana soca baseando-se em lead time? Planejou-se o seguinte:

- Levantamentos de Históricos - Extrair o histórico recente das últimas três safras do banco de dados da empresa foco do estudo
- Levantamentos Base técnica - Documentos agronômicos direcionadores utilizados pela empresa
- Levantamentos acadêmicos - Artigos, dissertações e teses sobre o tema

3.4. Preparação, Coleta e Análise

Na etapa de preparação, cuidou-se em saber internamente a fonte confiável das informações da empresa que satisfaria este estudo. No caso, a fonte primária das informações da empresa é o MRP Agrícola que concentra os dados de colheita e aplicação.

Ainda relacionado a preparação, utilizou-se como base de documentos direcionadores o Boletim 100 (B-100) e como base de pesquisa de artigos, teses e dissertações sobre o tema utilizou-se a Base de Dados SciVerse Scopus, conforme mostrado na metodologia. Ficando os Repositório Institucional da Unesp e o Google Academy como agregador.

Quanto a coleta de dados foi realizada a partir de três bases contemplando os locais (a partir daqui identificados como blocos) nas safras 2021/2022, 2022/2023 e 2023/2024:

- Base de Colheita: que mostra o bloco, a data, a área e a produtividade por bloco
- Base de Aplicação: que mostra o bloco, a data da aplicação, a área aplicada e as operações de tratos culturais realizadas em cada bloco
- Base de Aderência ao Lead time: que mostra por bloco quão aderente foi a aplicação

Utilizou-se as últimas versões dos boletins técnicos Boletim 100 de 2022, Boletim 229 de 2021 e Boletim 200 de 2014. Além de artigos filtrados a partir de 2018 nas bases supracitadas.

3.5. Análise Cruzada e Conclusão

Para análise cruzadas, as bases foram unificadas e tabuladas usando “MS Excel”, remoção das duplicadas, os dados foram trazidos por bloco, por safra e por produtividade, área, datas de colheita, datas de aplicação por operação e foram cruzadas com os dados técnicos dos Boletins 100, 200, 229 e os artigos que tratam sobre o tempo ideal para aplicação.

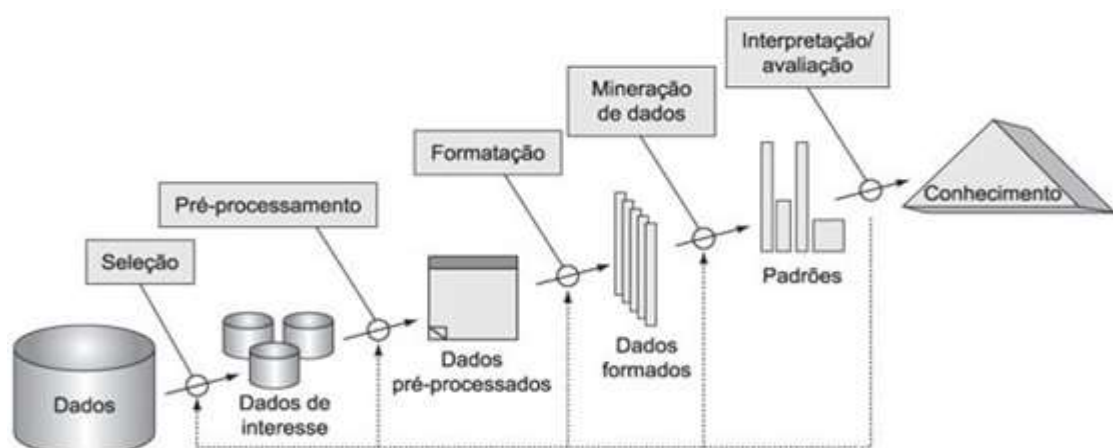
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção foi mostrado inicialmente a forma como a empresa estudada utilizou para medir o lead time das operações e posteriormente os resultados obtidos deste estudo.

4.1. Análise e Validação dos dados

Para análise e validação de dados, utilizou-se o processo Knowledge Discovery in Database (KDD), conforme Figura 6, que é um processo de identificação de padrões válidos, novos, potencialmente úteis e compreensíveis em dados compostos pelas seguintes etapas: seleção, pré-processamento, formatação, mineração de dados, interpretação/avaliação e pôr fim a etapa do conhecimento. Em outras palavras, é um meio descoberta de conhecimento a partir das bases de dados.

Figura 6 - Etapas do processo KDD



Fonte: Fayyad et al. (1996)

Na seleção, utilizou-se o sistema de gestão ERP da empresa considerando (I) as safras 2020/21, 2021/22, 2022/23 e 2023/24; (II) os blocos que foram colhidos em alguma safra, e (III) estavam com status fechados no sistema, ou seja, com as ordens de serviço estavam totalmente apontadas. Foram considerados 1086 blocos que representaram um volume de área próximo à 44.000 ha.

Na etapa de Pré-processamento, objetivou-se clusterizar as informações de modo que ficasse em evidência apenas os blocos que tiveram colheita em todas as safras. A ideia é dar foco apenas em blocos de cana soca e não tiveram reforma no canavial (tendo em vista não ser

o foco do trabalho). Assim, reduziu a quantidade de blocos para 306, num volume de área em torno de 17.200 ha. A forma de filtro foi considerar todos os blocos que tiveram de fato apontamento de produção nas safras analisadas. Com isso, desconsiderou-se dados inconsistentes, incompletos ou que tenham sido registrados de forma inadequada afim de garantir a confiabilidade deles.

A Tabela 6 mostra, por corte, o volume de área considerada apta para análise desta pesquisa. O 4C na safra 2023/24 indica que a cana estava no quarto corte. Assim sendo, na safra anterior (2022/2023) era terceiro corte (3C) e na safra 2021/2022 era segundo corte (2C) e na safra 2020/2021 era primeiro corte (1C). Esta lógica se aplica para os demais cortes. Considerou-se todos os blocos que tiveram colheita nesse período e apropriação de produção para avaliação do TCH.

Tabela 6 - Volume de área em hectare por corte e por safra

Corte	Safras			
	2020/2021	2021/2022	2022/2023	2023/2024
1C	6.494	-	-	-
2C	5.317	6.755	-	-
3C	2.642	6.054	6.917	-
4C	1.684	2.629	6.085	6.619
5C	322	1.707	2.596	5.739
6C	58	322	1.725	2.388
7C	100	58	322	1.504
8C	30	100	58	322
9C	-	30	130	170
Total	16.646	17.654	17.833	16.742

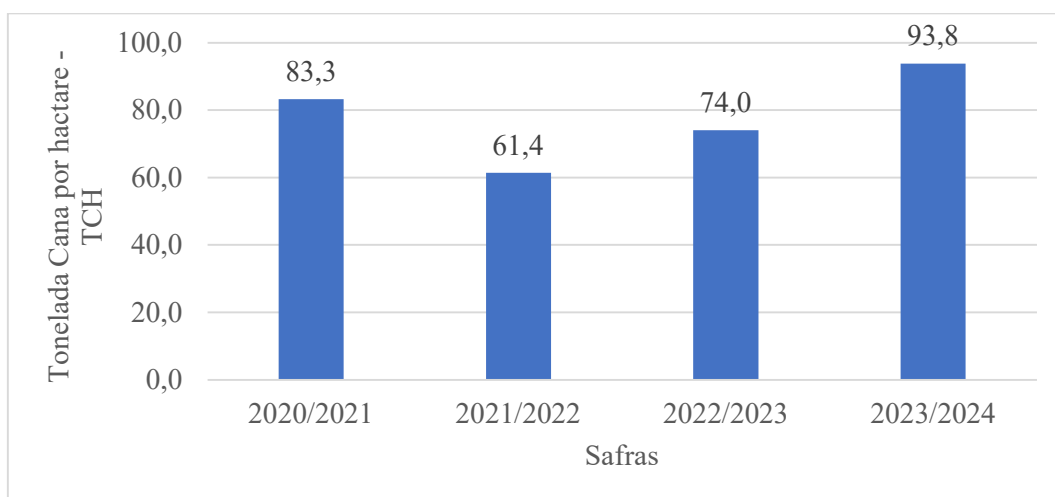
Fonte: Resultados originais da pesquisa

Fica compreendido, portanto, que a análise para capturar a evolução de produtividade e testar a hipótese da empresa, se dará nos mesmos blocos em todas as safras analisadas: de 2020/2021 até 2023/2024.

Para tanto, atribuiu-se um critério de aptidão, ou seja, foram considerados aptos os blocos que tiveram aplicação por operação em todas as safras e que tinham informação de produtividade atribuída nas bases analisadas. O objetivo é focalizar as áreas que receberam os principais tratos no decorrer das safras anteriores na qual a metodologia de lead time foi implantada. As aplicações de vinhaça e fertilizante mineral serão consideradas a partir daqui, para fins de sintetização, como Nutrição.

O Gráfico 3 mostra a produtividade geral das unidades sem aplicar os filtros de aptidão. Percebe-se que na safra 2023/2024 a produtividade percebida ficou acima da média histórica da unidade ($78,12 \text{ t ha}^{-1}$), da região ($78,17 \text{ t ha}^{-1}$) e da média nacional ($76,82 \text{ t ha}^{-1}$).

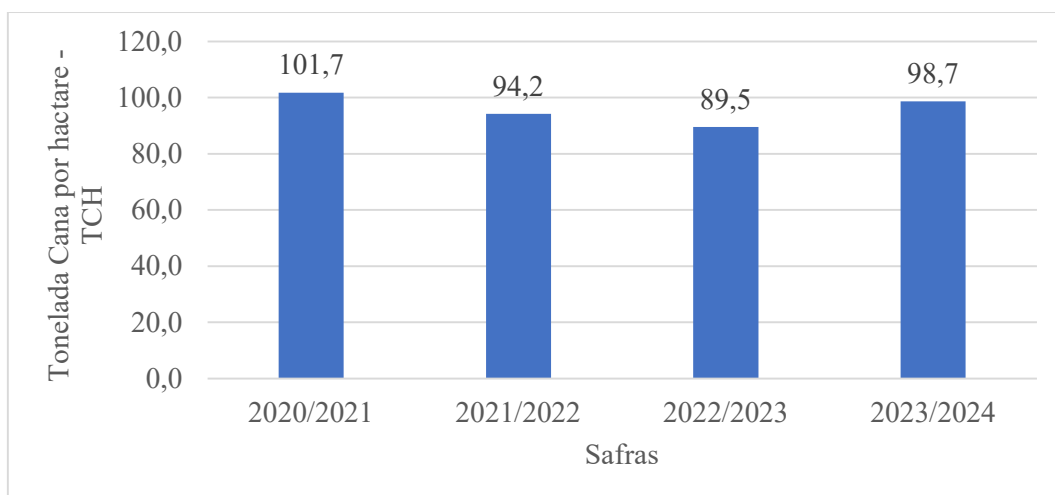
Gráfico 3 – Produtividade Geral da unidade – Sem filtros de análise



Fonte: Resultados originais da pesquisa

O Gráfico 4, mostra a produtividade média considerando blocos aptos na análise. Ou seja, tiveram dados de TCH atribuída em todas as safras e apontamento de aplicação em todas as safras das operações que estão em foco de análise. Percebe-se que a produtividade média da safra 2023/2024, que tem os cortes acima do 4º corte (4C), teve produtividade próxima a da safra 2020/2021, que possuía os cortes mais jovens.

Gráfico 4 – Produtividade Geral da unidade – Com filtros de análise



Fonte: Resultados originais da pesquisa

Na etapa de formatação considerou-se os blocos acima do 3º corte na safra 2023/2024. O objetivo foi o de capturar, safra a safra, o comportamento de produtividade destes blocos. Outros critérios também foram considerados, como: A - Tem que ter colheita nas safras 2021/2022, 2022/2023 e 2023/2024; B - Tem que ter produção atribuída nas safras: 2021/2022, 2022/2023 e 2023/2024; e C - Tem que ter apontamento das operações nas safras: 2020/2021 até 2022/2023. Os objetivos são, capturar a produtividade e a aderência ao lead time.

Conforme boletim divulgado pela CONAB (2024), do último levantamento da Safra 2023/2024, houve incremento de produtividade de 16,2% na safra em questão, registrando em média Brasil de 85,6 t/ha. Na região sudeste, a média foi maior ainda 92,0 t/ha. As condições climáticas e os investimentos para renovação das lavouras são os principais fatores para este incremento.

A partir deste filtro inicial de averiguação, foi identificada a produtividade média de TCH por corte, por operação individual e por safra. A forma de apresentação dos dados para efeito de comparação, se deu analisando e atribuindo a aderência ao lead time. Ou seja, se os blocos foram realizados nas três safras dentro do lead time, ele foi considerado “3 DENTRO” na aderência ao lead time. Assim como se for duas safras: “2 DENTRO”. Apenas uma safra: “1 DENTRO” e quando em nenhuma safra foi aplicado dentro do lead time, foi atribuído: “0 DENTRO”.

4.1.1. Análise de Produtividade Operação Herbicida

Ao fazer o planejamento operacional para dimensionar e direcionar as atividades e estruturas a aplicação herbicida é a primeira operação realizada após a colheita.

Isto porque nas fases iniciais de crescimento, a cana-de-açúcar é afetada pelas plantas daninhas que utilizam os mesmos recursos por apresentarem rota metabólica equivalente de fixação de carbono (C4).

Wolff & Medeiros (2017) disse que as plantas daninhas competem com a cultura por água, nutrientes e radiação solar, podendo também liberar substâncias com efeitos alelopáticos afetando direta ou indiretamente a germinação, crescimento e desenvolvimento das plantas cultivadas, além de atuar como hospedeira de pragas e doenças.

Conforme Tropaldi et al. (2021) o controle das plantas daninhas não pode ser negligenciado, visto que as perdas de produtividade pela infestação de plantas daninhas podem

representar até 80% das perdas na produção. Carbonari (2007) ao falar da interferência da cultura em relação às daninhas mostrou pelo menos quatro fatores que determinam a intensidade desta interferência: 1 - fatores da própria cultura, como variedade, espaçamento e eficiência do plantio; 2 – fatores ligados à comunidade infestante; 3 – tempo e extensão de convivência entre as duas e; 4 – condições edafoclimáticas do local. Dessa forma, quanto maior for o tempo de convivência múltipla maior será o grau de interferência.

Wolff & Medeiros (2017) disseram que as condições climáticas determinam as espécies de plantas daninhas predominantes e o período de interferência com a cultura. Pelo menos três práticas de controle de daninhas podem ser praticados pelas empresas: mecânico, culturais e químico.

A brotação das gemas acontece entre três e cinco semanas a depender da disponibilidade hídrica e de luminosidade para a fotossíntese. Em épocas mais frias, de menor luminosidade nos meses de junho, julho e agosto, o crescimento vegetativo da planta é menor.

Considerando a mato competição entre a cultura e as plantas daninhas, a operação de herbicida deve ser realizada o mais próximo possível da colheita para aproveitar a janela de pré-emergência da planta. A perda deste timing de aplicação pode acarretar perda de produtividade devido a possibilidade de aumento de infestação e aumento dos custos operacionais devido a necessidade de utilizar defensivos de custo elevado para pós emergência. Deste modo, a aplicação de herbicida, considerando a pré emergência, foi considerado quinze dias após a colheita.

A Tabela 8 mostra a produtividade média dos blocos que foram tratados com herbicida que tiveram aderência de zero (sem aderência) a três dentro do lead time estipulado.

Tabela 7 - Produtividade Média Operação Herbicida

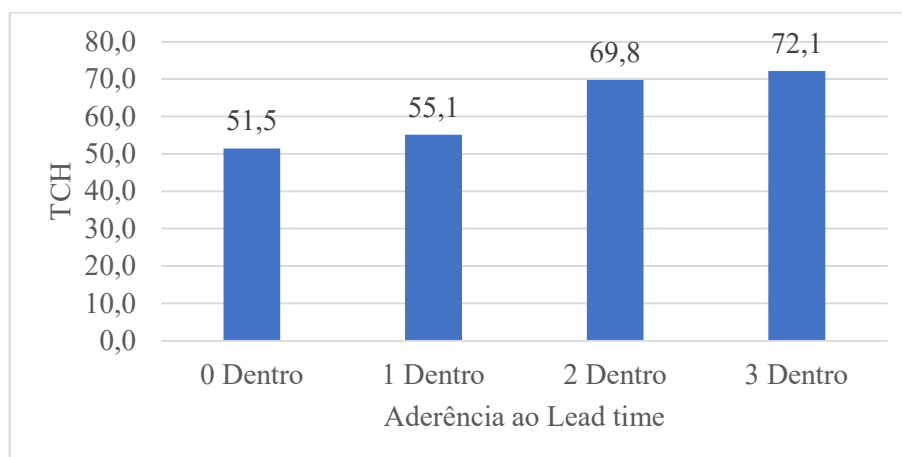
Aderência	Área (ha)	TCH 2021/2022	TCH 2022/2023	TCH 2023/2024	TCH Médio
0 Dentro	458,0	44,7	59,0	50,5	51,5
1 Dentro	3.239,2	50,4	58,1	56,9	55,1
2 Dentro	6.565,4	65,5	67,0	77,0	69,8
3 Dentro	6.067,0	73,1	66,3	77,3	72,1
Média Total	16.329,7	64,6	64,8	72,5	67,2

Fonte: Resultados originais da pesquisa

Ao filtrar as áreas que tiveram aplicação de herbicida em cana soca, conforme os filtros sinalizados no tópico anterior, vê-se o comportamento safra a safra de melhora nos índices totais de TCH no decorrer do período observado. Além disso, fica evidente que há importante diferença de produtividade entre o apurado com zero vezes aderente, do que esteve aderente as três safras.

O Gráfico 5 mostra a média de TCH em relação às vezes que ficou aderente. Com uma diferença percebida de 29% entre zero de aderência ao que foi aplicado três safra de forma aderente ao lead time.

Gráfico 5 - Produtividade Média Operação Herbicida



Fonte: Resultados originais da pesquisa

4.1.2. Análise de Produtividade das Operações de Nutrição (Vinhaça Localizada ou Adubação Mineral)

Após a aplicação de herbicida, pelo menos três operações concorrem entre si para aplicação: aplicação de fertilizante mineral, vinhaça e corretivo de solo.

A partir da amostragem de solo da safra atual ou da anterior, que mostrará as deficiências de nutrientes do solo, decide-se se será aplicado vinhaça ou o fertilizante mineral.

Conforme o B-100 (2022) deve-se estabelecer um sistema de amostragem de solo e planta que contemplem similaridades das áreas amostradas como solo, manejo, cultivar, por exemplo, para identificar a reserva nutricional do solo e o aproveitamento dos nutrientes pela planta. A cana-de-açúcar extrai grandes quantidades de nutrientes e os cálculos de adubações consideram a necessidade de pelo menos repor os nutrientes removidos pela colheita em solos com teores baixos.

A compensação potássica, o custo de produção devido os insumos, raio médio de distância do local de aplicação para o local de carregamento da vinhaça, a dificuldade logística para transito das estruturas de caminhões ou tratores pesados, e a disponibilidade de resíduos orgânicos da indústria são fatores preponderantes de decisão no planejamento operacional agrícola de qual operação deve ser realizada: Se com adubação mineral, com estrutura apropriada de deposição utilizando doses com taxas variadas ou por vinhaça, seja com estrutura de vinhaça localizada, também com doses variadas.

A vinhaça (resíduo da fermentação e destilação), principal subproduto, é um efluente marrom escuro, composto por 93% de água e 7% de matéria orgânica e minerais (Sica et al., 2020). Embora seja utilizada como fertilizante em substituição aos fertilizantes potássicos nas culturas de cana-de-açúcar (Sica et al., 2020). Segundo Paulino (2002), há maiores produções em função da aplicação de vinhaça com 300 a 450 m³ ha⁻¹.

É complexo avaliar com precisão o período ideal para aplicações, inclusive os autores do tema não ousam cravar timing e os trabalhos nesse sentido são gerais justamente devido as muitas variáveis incontornáveis do processo.

Silva (2010) ao avaliar a aplicação de potássio na soqueira de primeiro corte da variedade IAC SP 93-3046 observou incremento potássico aos quatro meses após a brotação e não obteve o mesmo resultado aos oito meses. Coelho & Verlengia (1973) já diziam que a exigência nutricional da planta se dá aos cinco meses após a brotação.

Porém, pelo menos duas questões devem ser levadas em consideração: capacidade operacional e disponibilidade industrial. Se a operação aguardar cinco meses para aplicar, conforme sugeriu os autores citados anteriormente, a operação não tem capacidade operacional,

dependendo do tamanho das áreas das unidades, para realizar os tratos no timing. Além disso, os locais de armazenamento de vinhaça não suportarão estocagem do produto por tanto tempo.

Assim sendo, o lead time de aplicação está relacionado diretamente ao equilíbrio adequado entre oferta industrial dos resíduos orgânicos com o mínimo suficiente da necessidade da planta/solo. Na unidade estudada isso ocorre com vinte e cinco dias.

A Tabela 9 considera a produtividade média das operações de Nutrição – (vinhaça e cultivo mineral). Quando se faz a mesma avaliação nos blocos que tiveram aplicação de vinhaça localizada ou a adubação mineral, mostra que houve incremento de produtividade nos blocos que tiveram as três aplicações dentro do time nas três safras em relação aos blocos que tiveram zero aderência no período.

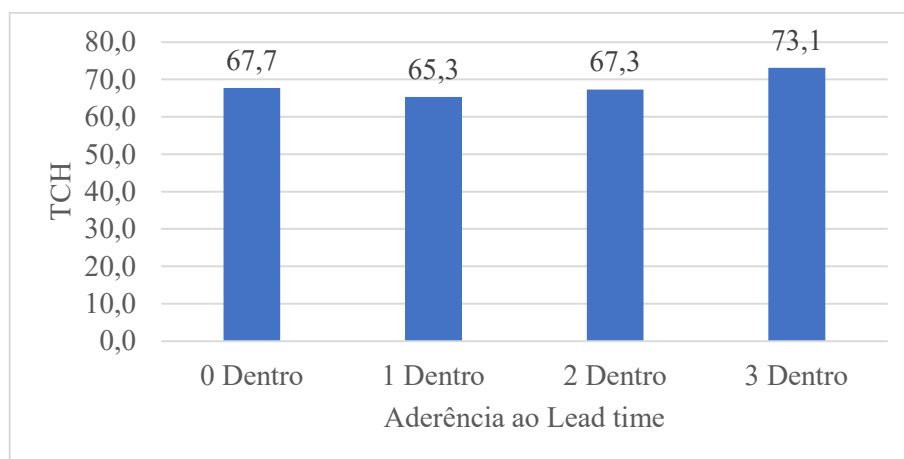
Tabela 8 - Produtividade Média Operação Nutrição

Aderência	Área (ha)	TCH 2021/2022	TCH 2022/2023	TCH 2023/2024	TCH Médio
0 Dentro	222,9	57,0	74,4	71,9	67,7
1 Dentro	3.235,9	61,5	61,1	73,6	65,3
2 Dentro	6.895,6	65,1	64,7	72,3	67,3
3 Dentro	3.262,9	72,4	69,1	78,0	73,1
Total	13.617,2	65,8	65,1	74,0	68,2

Fonte: Resultados originais da pesquisa

O Gráfico 6 mostra que houve diferença de 9,5% da produtividade percebida nos blocos que tiveram todas as aplicações dentro do lead time em relação aos blocos que não tiveram aplicações dentro do time.

Gráfico 6 - Produtividade Média Operação Nutrição



Fonte: Resultados originais da pesquisa

4.1.3. Análise de Produtividade de Operações de Corretivos

O MAPA (2023), que regulamenta a comercialização dos corretivos, define corretivo de acidez como o material apto a corrigir uma ou mais características desfavoráveis do solo, a acidez. E de fornecer cálcio e magnésio para as plantas. Conforme B-100 (2022) os corretivos mais usados são de rochas calcárias moídas, composta principalmente por misturas dos minerais calcita, dolomita e magnesita. Outra fonte de corretivo, especialmente para cana-de-açúcar que tem despertado interesse, são os resíduos das indústrias siderúrgica, as escórias de alto forno. Porém, pelo menos por enquanto tem pouca comercialização.

Ao falar sobre a correção do solo, o B-100 (2022) mostra que o gesso é produto estratégico para a cultura da cana de açúcar pois além do impacto agrônomo, como fonte de enxofre e cálcio, assegura redução de custos de adubação da cultura. É ressaltado também pelo Boletim 100 que o gesso é um subproduto da indústria de fertilizantes fosfatados, usado para aumentar os teores de cálcio e reduzir a saturação de alumínio em solos ácidos e não tem ação direta sobre a acidez, como o calcário, por exemplo.

Assim a indicação do B-100 (2022) diz que o benefício máximo da calagem para corrigir a acidez do solo acontece quando a aplicação for realizada com máximo antecedência possível do plantio, de maneira incorporada, devido sua reação lenta de correção do calcário no solo. Não sendo possível, é preferível aplicar o mais próximo possível à semeadura, do que deixar de fazer a operação de calagem. Após a incorporação profunda realizada em plantio é recomendado correções periódicas de acidez apenas sobre a superfície dos solos.

Os macronutrientes secundários, cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), são usualmente supridos às culturas via aplicação de corretivos, como calcário, e condicionadores de solo, como o gesso agrícola.

O B-100 (2022) sugere aplicação de calcário na cana soca, quando necessário, em área total, logo após o corte, sem necessidade de incorporação em áreas com palha, assim como a gessagem, conforme necessidade identificada na amostragem de solo para saturação por base do solo ou saturação de alumínio. Mesmo se não houver tais necessidades, o gesso deve ser aplicado como fonte de enxofre.

Por questões de similaridade de aplicação, otimização logística e estruturais dos equipamentos, implementos e mão de obra, a operação de calagem e gessagem acontecem uma

após a outra em taxa variada. Na unidade estudada acontece de 27 a 30 dias após a colheita pois depende da amostragem de solo após a colheita.

A Tabela 10, mostra a produtividade Média dos blocos que tiveram aplicação de corretivo (seja calcário ou gesso). Ao avaliar a produtividade com olhar apenas para os corretivos, percebe-se que os blocos que tiveram aplicação de corretivos nas safras em foco aumentaram 10% em produtividade quando compara-se às aderências de zero a três dentro.

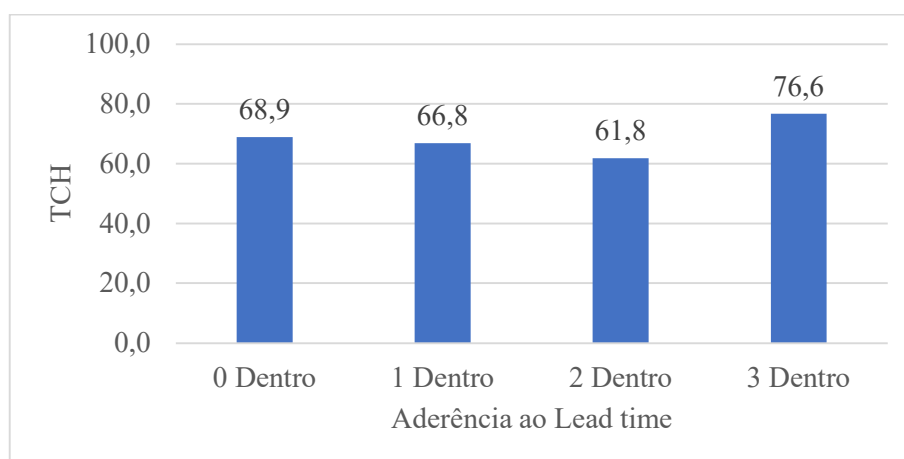
Tabela 9 - Produtividade Média Operação Corretivo

Aderência	Área (ha)	TCH 2021/2022	TCH 2022/2023	TCH 2023/2024	TCH Médio
0 Dentro	49,1	54,5	69,9	82,2	68,9
1 Dentro	251,5	52,1	75,1	75,1	66,8
2 Dentro	219,1	50,9	55,1	79,0	61,8
3 Dentro	175,4	77,7	73,1	79,1	76,6
Total	695,2	58,2	67,8	77,9	67,8

Fonte: Resultados originais da pesquisa

A Tabela 10 e o Gráfico 7 mostram que os blocos que tiveram aplicação de corretivo dentro do time nas três safras, tiveram consequentemente a maior média geral de TCH. A empresa focalizou as aplicações de corretivos em cortes jovens (até o 4º corte) nas últimas safras. E com isso, vê-se que há melhoras nos resultados de produtividade.

Gráfico 7 - Produtividade Média Operação Corretivo



Fonte: Resultados originais da pesquisa

4.1.4. Análise de Produtividade de Todas as Operações

Quando se mediu a produtividade de todas as operações destacadas no escopo deste estudo (aplicação de herbicida, aplicação de vinhaça ou adubação mineral e corretivos) baseando-se na aderência ao lead time, seguindo a mesma proposta apresentada nas observações anteriores: de zero a três aderências (dentro), é possível de fato compreender que a aplicação dentro de lead time retorna produtividade ao canavial. A Tabela 11 mostra este comportamento por safra.

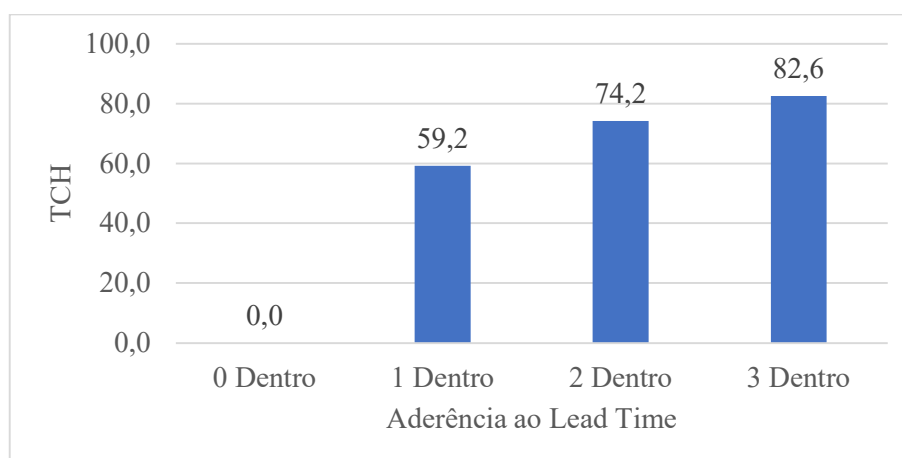
Tabela 10 - Produtividade Média todas as Operações

Aderência	Área (ha)	TCH 2021/2022	TCH 2022/2023	TCH 2023/2024	TCH Médio
0 Dentro	0				
1 Dentro	358,0	55,2	56,2	66,8	59,2
2 Dentro	1.606,0	73,3	70,3	78,9	74,2
3 Dentro	2.320,0	86,2	74,7	86,6	82,6
Total	4.284,0	78,7	71,5	82,1	77,5

Fonte: Resultados originais da pesquisa

O volume de área observada neste ponto do estudo, em que todas as operações tiveram aplicações aderentes, foi por volta de 4.400 ha. Deste volume percebeu-se que as áreas com que todas as operações, em todas as safras, foram feitas em aderência ao time, representa 54% (3 dentro), 38% (2 dentro) e 8% (1 dentro). O Gráfico 8 traz os dados da produtividade média considerando todas as operações pela aderência de zero a três dentro do lead time. Não foi possível capturar se houve, no volume de área observado, blocos que não tiveram nenhuma aplicação fora do time em todas as operações.

Gráfico 8 - Produtividade Média todas as Operações



Fonte: Resultados originais da pesquisa

Pelo Gráfico 8 fica evidente a acentuada escalada de melhoria na produtividade quando se compara a produtividade média encontrada quando se aplicou as três safras dentro do time em comparação com a produtividade encontrada na safra onde se aplicou apenas uma aderente.

4.2. Fatores não gerenciáveis

Os fatores de produtividade da cana-de-açúcar se referem aos elementos que afetam a quantidade e a qualidade da produção de cana de açúcar. Dentre estes fatores estão clima, solo, variedade da cana, tecnologia agrícola adotada, mão de obra, investimentos em pesquisas e desenvolvimento e o manejo agrícola. Portanto, há fatores gerenciáveis e outros não gerenciáveis. Conforme Sentelhas (2016), os não gerenciáveis representam 75% da produtividade.

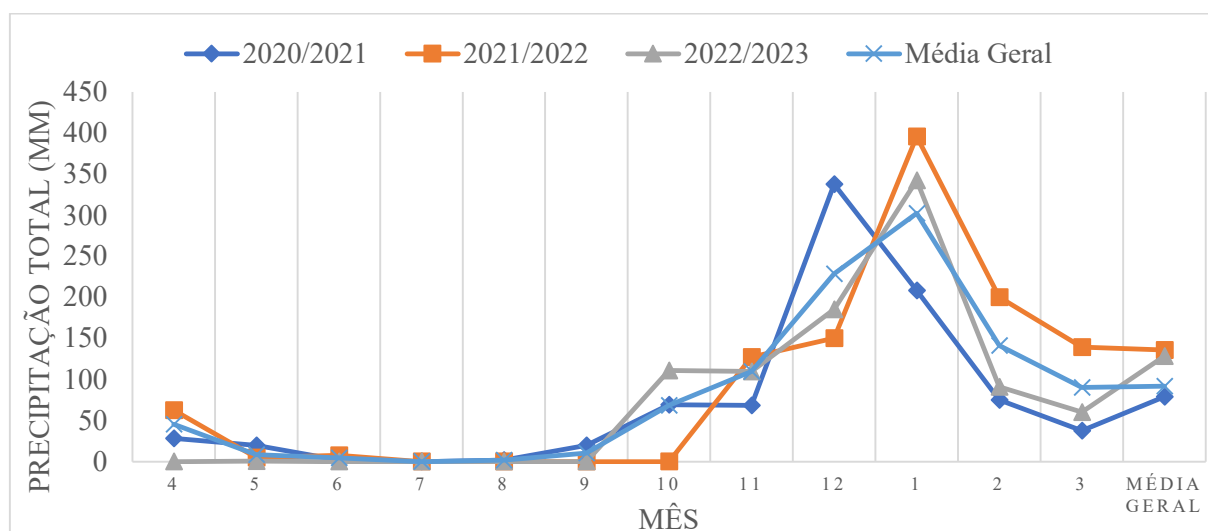
Na prática, não é simples isolar os fatores de produtividade como clima ou solo, e não ser analisar e capturar as produtividades encontradas por safra. Desse modo, buscou-se avaliar a metodologia adotada pela empresa de programação pelo lead time, com vista ao clima, solo e variedades.

4.2.1. Clima

Conforme Buffon et. al (2021) a cana-de-açúcar, por ser plantada e colhida ao longo de vários meses do ano, a demanda hídrica da planta depende justamente da época de plantio e colheita. A produtividade nesse contexto é impactada pela disponibilidade hídrica e pela época colhida.

O Gráfico 9 que mostra as precipitações de chuvas mensais, a safra 2022/2023 (que reflete os dados de produtividade da safra 2023/2024), teve o maior valor acumulado de outubro a março em comparação às outras safras ficando na média anual abaixo apenas da safra 2021/2022, mas acima da média geral.

Gráfico 9 – Precipitação Mensal por Safra (mm)



Fonte: INMET Estação A748 Barretos

Ainda sobre os fatores de clima, a radiação e temperatura são preponderantes no processo de fotossíntese e maturação das plantas, e nesse contexto, os dados de radiação da fonte meteorológica próxima à unidade observada, não eram confiáveis e foram desconsiderados do estudo. Igualmente os dados de temperatura e precipitação foram desconsiderados os meses setembro e outubro de 2021 e junho, julho, agosto e setembro de 2022.

Vê-se, porém, no Gráfico 10 que mostra os volumes de precipitações e temperatura no período de abril de 2019 a maio de 2024, desconsiderando o período acima descrito.

O período chuvoso na região sudeste do país vai de outubro a março, porém, devido falta da informação em outubro de 2021, foi considerado o período de novembro a março nas safras analisadas conforme a Tabela 12. Percebe-se que: na safra 2019/2020, que vai refletir a produtividade da safra 2020/2021 e a safra 2021/2022, que vai refletir a produtividade 2022/2023, tiveram os maiores índices pluviométricos em volume e média.

Tabela 11 – Dados climáticos por safra nos meses de novembro a março

	2019/2020	2020/2021	2021/2022	2022/2023	2023/2024
Temperatura (+) - °C	25,3	25,4	25,5	24,5	26,7
Temperatura (-) - °C	18,9	17,4	19,0	16,4	17,3
Média Chuvas – mm	191,9	145,3	202,5	157,7	128,7
Volume Chuvas – mm	959,4	726,6	1012,4	788,4	643,4
Variação Chuvas Safra - %	-	-24%	39%	-22%	-18%
TCH Médio por Safra com Filtro de Análise	-	101,7	63,6	64,1	72,5

Fonte: Dados originais da pesquisa

A. Safra 2019/2020 – Que reflete a produtividade capturada da safra 2020/2021

Esta safra teve o 2º maior índice pluviométrico capturado das safras analisadas. Tanto no volume, quanto na média dos cinco meses. Em relação à temperatura, foi também a safra 2ª safra mais quente das quatro analisadas. Foi a safra em que as precipitações ocorreram de maneira mais equilibradas nos meses de novembro a março não tendo nenhum mês com picos destoante dos demais, com média próxima a 192 mm e o maior índice na casa de 263 mm. Desta safra, a produtividade média ficou na casa de 101,7 toneladas por hectare.

B. Safra 2020/2021 – Que reflete a produtividade capturada da safra 2021/2022

Esta safra foi a 2ª mais fria no período analisado das quatro safras analisadas. Nos meses de maio, junho e julho, que são os meses com menor precipitação chuvosa, de maior friabilidade e automaticamente com menor crescimento vegetativo, teve temperatura máxima na casa dos 20°C e mínima com 11°C. Média geral da safra na casa de 20°C. Teve a pior média e volume pluviométrico de novembro a março e foi capturada com redução de 24% de índice menor que a safra 2020/2021. Quebra de 37% em relação à safra anterior. Na safra em questão, conforme explicado acima, foram considerados os cortes jovens.

C. Safra 2021/2022 – Que reflete a produtividade capturada da safra 2022/2023

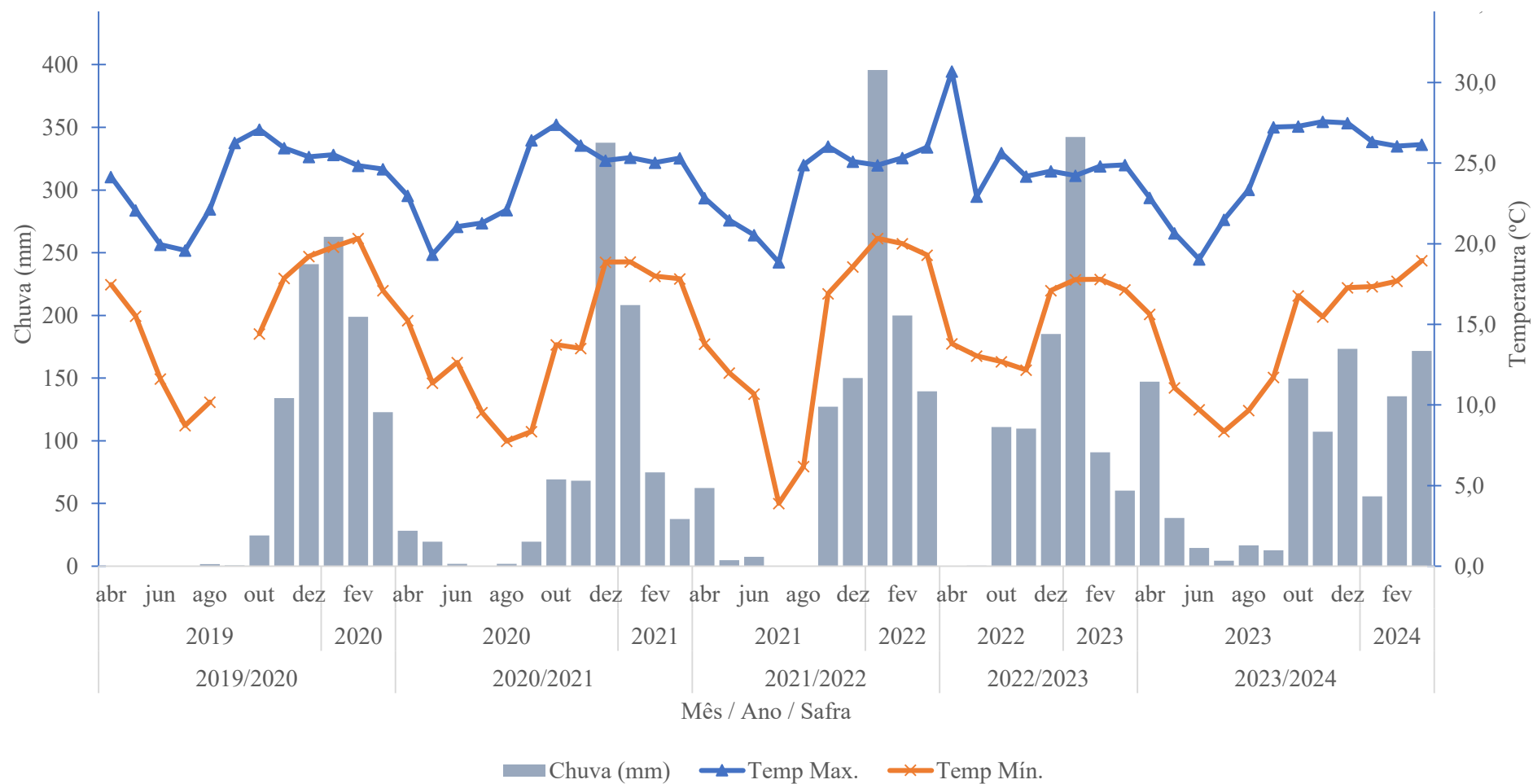
Esta safra mostra o maior volume de chuvas, maior temperatura mínima e máxima do período e nas safras analisadas. Com quase 400 mm de chuva no mês de janeiro de 2022 e média de 200 mm por mês nos cinco meses em foco. Sem o mês de janeiro a média fica em 154 mm. Porém foi registrado melhora de 0,8% em produtividade em relação à safra passada. Ou seja, 64,1 toneladas por hectare.

D. Safra 2022/2023 – Que reflete a produtividade capturada da safra 2023/2024

A safra 2022/2023 foi caracterizada por redução de 22% nos índices pluviométricos, ou seja, 788 mm. Muito equivalente ao comportamento da safra 2020/2021. Porém, teve as mais baixas aferições de temperaturas do período analisado (novembro a março) 16,4 °C na mínima e 24,5 de máxima. Houve incremento de 13% em produtividade, com 72,5 toneladas por hectare capturada na safra 2023/2024.

Assim, partindo da safra 2020/2021, que teve redução dos índices de chuvas no período analisado em relação à safra 2019/2020, que tinha os cortes mais jovens deste estudo, vê-se que houve incremento de produtividade nas demais safras. Isso mostra que apesar das circunstâncias não gerenciáveis e o consequente envelhecimento do canavial não impediram aumento de TCH. Apesar da 2022/2023 ter um comportamento de precipitação equivalente à safra 2020/2021, houve aumento de TCH, conforme pode ser ver na Tabela 12.

Gráfico 10 – Precipitação de Chuvas e Temperatura mínima e máxima por mês/Safra na Região da Empresa de Estudo



Fonte: Dados originais da pesquisa

4.2.2. Solos

Conforme EMBRAPA (2018) a produtividade é afetada pelo solo que a cultura é plantada. Segundo o Sistema Integrado de Bases e Condicionantes de Solos (SIBCs), plataforma que integra dados e informações Classificação de solos brasileiros no território nacional predominam o Latossolos, Argissolos e Neossolos que representam 70%. Sendo que a maior fatia é representada por Latossolos e Argissolos, 58% da área. Estes são caracterizados por solos profundos, altamente intemperizados, ácidos, de baixa fertilidade natural e, em certos casos, com alta saturação por alumínio.

Conforme EMBRAPA (2018) os Latossolos (Figura 6) são solos altamente desenvolvidos, são altamente intemperizados, sem incremento de argila em profundidade, as cores variam, mas, o mais comum, são nas cores amareladas e avermelhadas. Textura média a muito argilosa. São os solos mais representativos do Brasil, ocupando aproximadamente 39% do território nacional.

Figura 7 – Solo Latossolo



Fonte: EMBRAPA (2018)

De mesma forma, os Argissolos, Figura 7, que representam 24% da superfície brasileira, são identificados com maior teor de argila nos horizontes subsuperficiais em relação aos superficiais com matizes amareladas e avermelhadas os mais comuns.

Figura 8 – Solo Argissolo

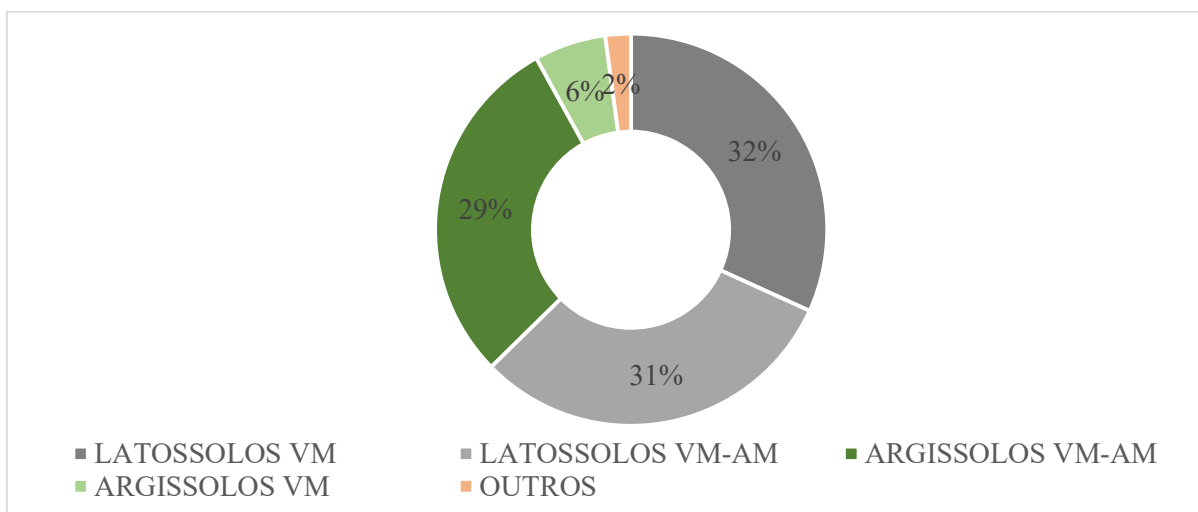


Fonte: EMBRAPA (2018)

No estado de São Paulo a cana de açúcar é cultivada em 47% de solo latossolo vermelho seguido do latossolo vermelho e amarelo.

Na unidade estudada, conforme Gráfico 11, 63% das áreas e safras analisadas estão plantadas em solos LATOSSOLOS, sendo 32% latossolo vermelho e 31% em latossolo vermelho e amarelo. E 36% estão em ARGISSOLO, sendo 29% em Argissolos vermelho e amarelo e 6% em Argissolos vermelho.

Gráfico 11 – Tipos de Solos Plantados na área estudada



Fonte: Resultados Originais da Pesquisa

Apesar de desenvolver em solos de baixa fertilidade a cultura da cana de açúcar responde positivamente em solos férteis atingindo alta produtividade. O valor de pH em cloreto de cálcio deve ser aproximadamente seis.

Conforme Marazon (2019), os Latossolos e Argissolos possuem as características recomendadas para o cultivo de cana-de-açúcar.

“Latossolos são solos morfologicamente homogêneos, com pouca diferenciação entre os horizontes ou camadas, reconhecidos facilmente pela cor quase homogênea do solo com a profundidade. Os Latossolos são profundos, bem drenados e geralmente com textura média ou mais fina (IAC, 2014). Argissolos são solos minerais com nítida diferenciação entre as camadas ou horizontes, reconhecidos em campo especialmente pelo aumento, por vezes abrupto, nos teores de argila em profundidade. Podem ser arenosos, de textura média ou argilosos no horizonte mais superficial, e apresentam cor mais forte (amarelada, brunada ou avermelhada), maior coesão e maior plasticidade e pegajosidade em profundidade, devido ao maior teor de argila. Sua retenção de água é maior nos horizontes abaixo da superfície (subsuperficiais), podendo constituir-se em um reservatório de água para as plantas (IAC, 2014)”

Para o estudo, com intuito de averiguar a produtividade com olhar para os solos, ao aplicar os filtros de validação (quantidade de vezes dentro), a participação de Argissolos foi de 45% sendo, 35% Argissolo VM-AM e 11% Argissolos VM. E Latossolos foi de 55%, mas com 32% e 23% para Latossolos VM e VM-AM, respectivamente.

Na análise de produtividade com vista aos solos (Tabela 13), percebeu-se que quando se aplica com todas as operações dentro do lead time previsto, há incremento de produtividade

na casa de 12% em relação à quando se aplica apenas duas operações no time e 21,7% em relação à quando se aplica em uma das operações dentro do time.

A maior média de produtividade foi encontrada nas canas plantadas em solos Argissolo VM-AM com média de 89,6 toneladas de cana por hectare quando se aplicou todas as operações dentro de lead time. A menor, igualmente em Argissolos, porém no VM (avermelhado) com média de 70,3 toneladas de cana por hectare tendo apenas uma aplicação dentro do lead time.

Em todas as safras, apesar da quebra de produtividade natural da cultura, percebe-se que quanto mais se aplica dentro do time há retorno positivo em produtividade, conforme a Tabela 13.

Tabela 12 – Análise de Produtividade Solos

Solos	Aderência	Área (ha)	TCH 2021/2022	TCH 2022/2023	TCH 2023/2024	TCH Médio
ARGISSOLOS VM-AM	0 Dentro	0	-	-	-	-
ARGISSOLOS VM-AM	1 Dentro	0	-	-	-	-
ARGISSOLOS VM-AM	2 Dentro	300,0	68,8	81,9	82,6	77,8
ARGISSOLOS VM-AM	3 Dentro	865,0	93,3	83,1	92,3	89,6
LATOSSOLOS VM	0 Dentro	0	-	-	-	-
LATOSSOLOS VM	1 Dentro	0	-	-	-	-
LATOSSOLOS VM	2 Dentro	436,0	96,5	70,7	71,0	79,4
LATOSSOLOS VM	3 Dentro	662,0	86,9	71,6	89,3	82,6
LATOSSOLOS VM-AM	0 Dentro	0	-	-	-	-
LATOSSOLOS VM-AM	1 Dentro	0	-	-	-	-
LATOSSOLOS VM-AM	2 Dentro	544,0	63,9	68,4	83,4	71,9
LATOSSOLOS VM-AM	3 Dentro	237,0	87,6	77,3	77,0	80,7
ARGISSOLOS VM	0 Dentro	0	-	-	-	-
ARGISSOLOS VM	1 Dentro	61,0	77,4	70,5	63,1	70,3
ARGISSOLOS VM	2 Dentro	110,0	81,8	70,6	106,2	86,2
ARGISSOLOS VM	3 Dentro	188,0	90,7	68,4	93,5	84,2
TODOS OS SOLOS	0 Dentro	0	-	-	-	-
TODOS OS SOLOS	1 Dentro	61,0	77,4	70,5	63,1	70,3
TODOS OS SOLOS	2 Dentro	1.389,0	76,5	72,0	81,0	76,5
TODOS OS SOLOS	3 Dentro	1.952,0	90,2	77,0	89,6	85,6

Fonte: Dados originais da pesquisa

4.2.3. Variedades

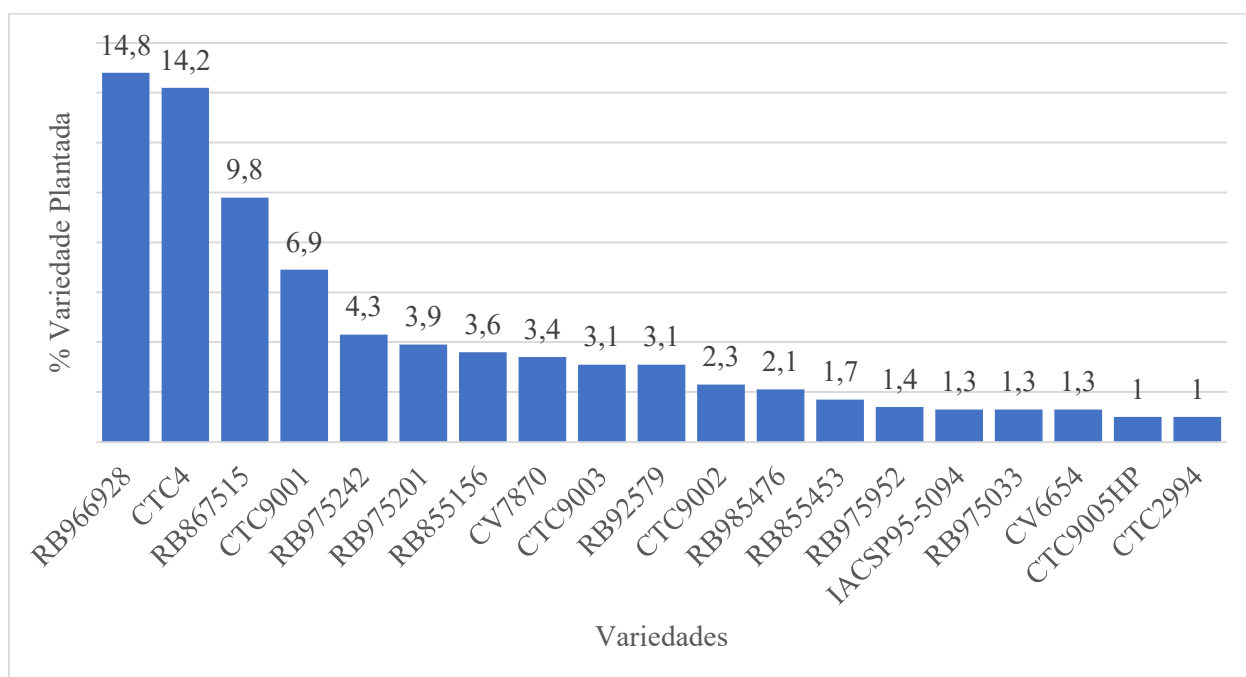
Conforme EMBRAPA (2018) o melhoramento genético é um dos passos para aumentar a produtividade e consequente rentabilidade do setor sucroenergético. Conab (2023) a produtividade média aumentou de 43 toneladas por hectare em 1961 para 74 hectares em 2005. Este aumento, em grande parte, é atribuído às melhoramento genéticos das variedades.

A escolha da melhor variedade a ser plantada exige um processo decisório que envolve conhecimento das exigências do solo, maturação, fechamento das entrelinhas, a brotação, sensibilidade aos herbicidas, exigências de água, tolerância a seca além da resistência às pragas e doenças. Por esse motivo as empresas buscam variar os tipos de cultivares em suas áreas.

O IAC (2023) divulgou através do Boletim Técnico 235, o Censo Varietal da Safra 2022/2023. Onde mostra que no território nacional a variedade RB867515 permanece como a variedade mais plantada no país. No estado de São Paulo, conforme Gráfico 12, o mesmo Boletim indica que a variedade RB966928 tem a maior participação, porém ambas (RB867515 e RB966928) serão brevemente superadas por outras variedades. E uma das que mais se destacam, e tem tido aumento de área plantada, é a CTC-4.

O perfil de variedades modernas, adaptadas à mecanização e que tem como características genéticas maior capacidade de brotação, perfilhamento e tolerância às doenças, gerando maior longevidade ao canavial. Destaca-se também que as variedades modernas são adaptadas às novas práticas agrícolas e, principalmente, à aplicação de manejos como o do 3.º eixo, que, segundo o Boletim, tem promovido significativo aumento da produtividade do canavial.

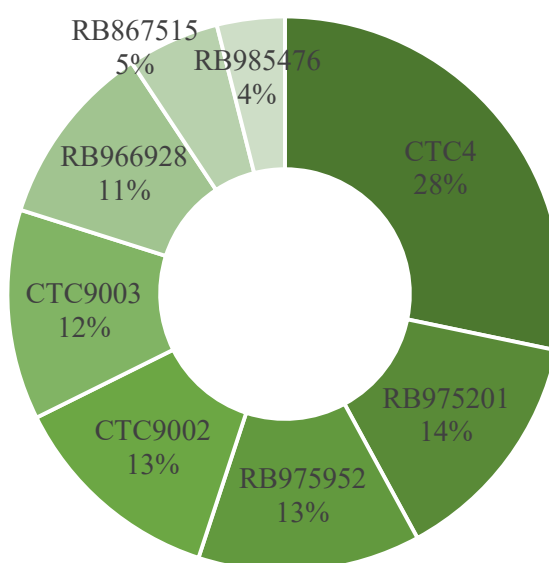
Gráfico 12 – Percentual de Variedade Plantada no Estado de São Paulo 2022/2023



Fonte: IAC (2023)

Para este estudo foram observados trinta tipos de variedades plantadas pela unidade. Sendo que 82% das áreas estão distribuídas em oito variedades. Sendo a mais representativa a CTC-4 da Copersucar, conforme o Gráfico 13 – Variedades de Cana Plantadas na unidade estudada.

Gráfico 13 – Variedades de Cana Plantadas na unidade estudada



Fonte: Dados originais da Pesquisa

Conforme os dados da Tabela 14, da análise de produtividade com vista às variedades por safra, a variedade CTC-4, que tem o maior volume de área amostrada, mostra que há aumento de produtividade quando as operações são realizadas dentro do lead time. Sendo que a diferença fica na casa de 29% quando comparado aos blocos que as operações foram realizadas fora do lead time (0 Dentro). Da mesma maneira, a variedade RB985476, registrou diferença de 27% na comparação da maior aderência com a inaderência.

As variedades RB975201, RB975952, CTC9002, CTC9003 e RB966928 não tiveram dados válidos nas linhas de zero aderência. Dessa maneira, foram observados os blocos tratados nas três safras dentro em comparação com os que foram tratados apenas em uma safra dentro do lead time tiveram diferença positiva de 34%, 37%, 26%, 21% e 45%, respectivamente.

A variedade RB867515, por sua vez, não forneceu informações suficientes na linha de aderência de três dentro. Por este motivo a análise comparativa se deu entre os dados de zero aderência e duas safras dentro do lead time, resultando em 41% em média.

Quando se observa de forma geral todas as variedades foco deste estudo, percebe-se que quando todas as operações ocorrem dentro do lead time em comparação com as que não ocorreram (0 dentro), há diferença positiva de 55,3% em TCH.

Tabela 13 – Análise de Produtividade por Variedade, por safra

Variedade	Aderência	Área (ha)	TCH 2021/2022	TCH 2022/2023	TCH 2023/2024	TCH Médio
CTC4	0 Dentro	128,7	47,6	63,9	79,4	58,0
CTC4	1 Dentro	924,9	54,2	58,3	62,5	58,1
CTC4	2 Dentro	1.627,6	67,8	67,6	77,8	70,8
CTC4	3 Dentro	1.999,9	71,5	69,8	85,9	75,1
RB975201	0 Dentro	-	-	-	-	-
RB975201	1 Dentro	502,8	56,9	65,0	55,3	59,3
RB975201	2 Dentro	933,3	84,3	79,5	90,1	84,9
RB975201	3 Dentro	1.223,3	90,5	74,0	76,9	79,9
RB975952	0 Dentro	-	-	-	-	-
RB975952	1 Dentro	345,2	76,1	62,6	59,3	65,6
RB975952	2 Dentro	1.209,0	88,5	84,0	89,5	87,3
RB975952	3 Dentro	1.011,6	102,5	73,5	95,9	89,7
CTC9002	0 Dentro	-	-	-	-	-
CTC9002	1 Dentro	237,2	55,6	54,5	58,5	56,1
CTC9002	2 Dentro	920,0	47,1	57,0	70,5	57,7

CTC9002	3 Dentro	1.075,7	77,4	66,4	70,0	71,3
CTC9003	0 Dentro	-	-	-	-	-
CTC9003	1 Dentro	113,7	69,5	64,4	70,4	68,4
CTC9003	2 Dentro	751,1	78,7	71,9	86,6	78,4
CTC9003	3 Dentro	1.445,1	86,5	73,3	89,7	83,1
RB966928	0 Dentro	-	-	-	-	-
RB966928	1 Dentro	308,1	47,2	54,7	56,6	52,7
RB966928	2 Dentro	791,4	59,0	58,9	75,6	63,0
RB966928	3 Dentro	772,4	80,8	70,3	78,6	76,7
RB867515	0 Dentro	127,1	32,5	45,3	33,5	37,3
RB867515	1 Dentro	400,7	25,8	48,5	41,2	38,2
RB867515	2 Dentro	399,5	44,8	56,2	57,7	52,7
RB867515	3 Dentro	-	-	-	-	-
RB985476	0 Dentro	41,3	85,5	77,6	79,9	81,1
RB985476	1 Dentro	37,7	85,8	64,9	73,1	74,1
RB985476	2 Dentro	291,0	77,7	66,3	70,8	71,5
RB985476	3 Dentro	449,2	117,7	100,5	92,0	103,1
TODAS VARIEDADES	0 Dentro	306,7	46,4	58,2	49,8	51,7
TODAS VARIEDADES	1 Dentro	2.870,4	53,0	58,1	58,0	56,3
TODAS VARIEDADES	2 Dentro	6.922,9	69,9	69,1	80,1	72,8
TODAS VARIEDADES	3 Dentro	8.012,9	84,6	72,9	83,6	80,3

Fonte: Dados originais da pesquisa

Quando se observa apenas as variedades que ocorreram aderente ao lead time (3 dentro), a variedade que apresentou maior produtividade foi a RB985476 com média de 103,1 toneladas nas safras analisadas. Seguida pela variedade RB975952 com 89,7 e CTC9003 com 83,1 de TCH.

A mais representativa em termos de área é a CTC 4 com 1.999,90 ha, seguida pela CTC9003 com 1.445,10 ha e a variedade RB975201 com 1.223,30 ha. Tendo, respectivamente, produtividade média de 75,1, 83,1 e 79,9 toneladas de cana por hectare. A CTC 4 mostrou teve a maior produção média: 150.192 toneladas.

5. CONCLUSÃO

Para introduzir as considerações finais, é importante resgatar a questão norteadora desta pesquisa, que é: há retorno em produtividade quando se programa e realiza as operações de tratos culturais em cana soca levando em consideração os leads times das operações?

Identificou-se que, na amostra do escopo deste trabalho e na metodologia de análise adotada, há de fato tendência positiva de aumento de produtividade quando se avalia os blocos que tiveram aplicação dentro do lead time em relação àqueles que não foram aplicados dentro do lead time. Desta forma, responde também a um dos pontos do objetivo geral do trabalho.

As áreas que tiveram aplicação de herbicida dentro do lead time nas três safras tiveram ganho de 29% em produtividade. As áreas em que a nutrição (vinhaça localizada ou adubação mineral) foram realizadas no lead time proposto pela unidade, apresentaram índices superiores em 9,5% em relação aos blocos que foram aplicados fora do lead time. As áreas em que os corretivos (calcário e gesso agrícola) foram aplicados fora do lead time, ficaram 11,1% abaixo em comparação com as áreas que foram aplicadas as três safras dentro do lead time.

Ao observar o desempenho de todas as operações conjuntamente (herbicida, corretivo, nutrição: vinhaça localizada ou adubação mineral) não tiveram casos de blocos com zero aderência ao lead time. Assim, comparou-se os blocos que tiveram três aplicações dentro do lead time com os blocos que tiveram apenas uma aplicação dentro do lead time. Desta forma, percebeu-se que quando todas as operações de tratos soca são realizadas dentro do lead time, há possibilidade de incremento de 39,5% em TCH.

Sabendo que alguns dos fatores de produtividade estão relacionados à precipitação de chuvas, ao solo e às variedades, percebeu-se que, mesmo nas safras em que o índice de chuvas ficou menor em comparação com a safra anterior (safra 2022/2023 e 2023/2024), a produtividade melhorou na ordem de 0,78% na safra 2022/2023 e 13,1% na 2023/2024.

Esta mesma avaliação, com vista aos solos, pode-se observar que as áreas que foram tratadas dentro do lead time tiveram aumento médio de 15,3 toneladas por hectares (TCH) nas áreas em que os tratos foram realizados dentro do lead time comparada com as áreas que tiveram apenas uma aplicação aderente. Com destaque para os Argissolos avermelhados e amarelados, que tiveram maior aumento em produtividade.

Quanto às variedades, a produtividade média identificada nas três safras seguiu as mesmas tendências de resultados identificados até aqui. Ao analisar oito variedades, que representam 82% das variedades da base de pesquisa, pode-se perceber que quando se aplicam todas as operações dentro do lead time pode-se obter aumento médio de 28,6 toneladas de cana

por hectares quando comparado aos blocos que foram realizados zero vezes dentro do lead time. Destaque para a variedade CTC4, que sendo mais representativa em volume de área (25,8%), apresentou produtividade média de 75,1 de TCH quando aplicado dentro do lead time e 58 de TCH quando aplicado com zero dentro do lead time. Diferença de 29,5% na comparação.

Os tempos adotados pela unidade para o herbicida estão em conformidade com o que é preconizado pela literatura. Os herbicidas precisam ser aplicados o mais próximo possível da colheita para evitar a mato competição e os custos de aplicação com produtos de pós emergência, os tempos de quinze a vinte dias encontra coerência dos especialistas.

A adubação por vinhaça, apesar do preconizado ser de até cinco meses da brotação, acontece em até vinte e cinco dias devido a oferta de resíduos industriais e a estrutura para aplicação desta atividade e trinta e cinco dias por adubação mineral. O planejamento operacional de tratos culturais é calibrado pela disponibilidade de vinhaça, necessidade potássica dos solos e das plantas além de locais com raio médio próximos da usina. Esta operação, do ponto de vista financeiro, é mais vantajosa para a empresa, especialmente considerando a distância e os custos com os insumos de adubação mineral - KCL.

Quanto aos corretivos (calagem e gessagem), o preconizado pela literatura é que seja realizado o mais próximo do corte. Assim, a operação acontece até trinta dias após a colheita.

5.1. Implicações Gerenciais

A metodologia do lead time para as operações de tratos em cana soca tem inúmeros impactos para a gestão agroindustrial.

1. Proporciona maior organização do trabalho pois, traz priorização das atividades, otimização logística, maior organização dos recursos materiais (máquinas, implementos etc.) e humanos;
2. Dá melhor equilíbrio na dinâmica de estruturação dos gastos e custos;
3. Proporciona maior organização na manutenção dos equipamentos;
4. Atende os quesitos agrônômicos de qualidade da matéria prima, rentabilidade do negócio e prolongamento do canavial;

Para trabalhos futuros, sugere-se que se amplie as amostras de dados, que se explore e ou determine os leads times para as operações de tratos culturais em cana planta e em preparo de solo, que se explore a programação de tratos culturais com os leads times com vista aos custos das operações.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, F. A., & ALMEIDA, J. A. (2022). **Eficiência no Manejo da Cana-de-Açúcar: Técnicas e Práticas para Maximizar a Produção**. Viçosa, MG, Editora UFV.
- BARACAT NETO, J.; SCARPARE, F. V.; ARAÚJO, R. B. de; SCARPARE-FILHO, J. A. (2017) Desenvolvimento inicial e produtividade em cana-de-açúcar a partir de diferentes propágulos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 47, n. 3, p. 273–278, 2017. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/44472>. Acesso em: 22 jul. 2024.
- BATALHA, R. (2021). **Gestão Agroindustrial**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2021.
- BRAGA JR., R. L. C.; LANDELL; M. G. A.; XAVIER, M. A.; SILVA; D. N.; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA; T. N.; SILVA, V. H. P.; RODRIGUES, P. E.; CARREGARI, H. R.; LUZ, A. M.; ANJOS, I. A. (2023) **Censo varietal IAC de cana-de-açúcar no Brasil - Safra 2022/23**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2023. 63p. Disponível em: <<https://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/tipo.php?p=1>>. Acesso em: 16 jul. 24
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2023) **Agronegócio brasileiro: desempenho do comércio exterior**. 4. ed. Brasília, DF: Mapa, 2023.
- BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento [CONAB] (2020) **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Disponível em: <<https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-estimativa-de-evolucao-cana-de-acucar.html>>. Acesso em: 16 out. 2023.
- BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento [CONAB]. (2024). **Produção de cana-de-açúcar é estimada em 652,9 milhões de toneladas influenciada por boa produtividade**. <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5124-producao-de-cana-de-acucar-e-estimada-em-652-9-milhoes-de-toneladas-influenciada-por-bom-produtivo>>. Acesso em: 15 mai. De 2024.
- BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento [CONAB]. (2024) **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5489-producao-de-cana-de-acucar-na-safra-2023-24-chega-a-713-2-milhoes-de-toneladas-a-maior-da-serie-historica>>. Acesso em: 15 mai. 2024
- BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária [EMBRAPA]. (2018) **Classificação dos Solos**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/sibcs/classificacao-de-solos?link=sibcs>>. Acesso 31 mai. 2024.
- BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária [EMBRAPA]. (2022) **Desempenho Recente do Agro Nacional**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/visao-de-futuro/trajetoria-do-agro/desempenho-recente-do-agro/cana-de-acucar>>. Acesso 31 dez. 2023.
- BRYNJOLFSSON, E., & MCAFEE, A. (2014). **The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies**. W. W. Norton & Company.

BUFFON, S.B.; ZUCOLOTO, M.; PASSOS, O.S.; BARBOSA, D.H.S.G.; ALTOÉ, M.S.; MORAIS, A.L. (2021) Initial production and fruit quality of fifty-seven sweet orange varieties on four rootstocks in Southern state of Bahia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.43, n.5. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0100-29452021765>>. Acesso em: 16 jun. de 2024

CAMP, C. R., & GOLLAN, J. R. (2022). Impact of Temperature on Sugarcane Growth and Yield. **Journal of Agricultural Science**, 14(3), 230-245

CAMPOS, L. M. F.; SHIGUNOV NETO, A. (2016) **Introdução à gestão da qualidade e produtividade: conceitos, história e ferramentas**. 1. ed. Curitiba: Intersaberes, *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 30 jul. 2024.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JR, D.; BOARETTO, R. M.; RAIJ, B. van. (2022) **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 88 p. (IAC, Boletim 100).

CARBONARI, C. A. (2007) **Eficácia do herbicida amicarbazone em aplicação conjunta com a colheita de cana-de-açúcar no controle das principais plantas daninhas da cultura** [s.n.]. Dissertação (Mestrado em Agronomia) -UNESP, Botucatu.

CASTRO, A. B. C.; BRITO, L. M. P.; SANTOS, R. S.; VARELA, J. H. S. (2015) O planejamento estratégico como ferramenta para a gestão escolar: Um estudo de caso em uma instituição de ensino filantrópica da Bahia/BA. **HOLOS**, [S. l.], v. 2, p. 195–211. DOI: 10.15628/holos.2015.2675. Disponível em: <<https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/2675>>. Acesso em: 16 jun. 2024.

COELHO, F. S.; VERLENGIA, F. (1973) **Fertilidade do solo**. 2. ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. p. 35-44

FAO. (2023). **The State of Food and Agriculture 2023 – Revealing the true cost of food to transform agrifood systems**. Rome. Disponível em: <<https://openknowledge.fao.org/items/d8b6b6d9-4fe3-4589-8b88-cac3f9ccdf0f>> Acesso em 23 jul. 24

GIL, A. C. (2014) **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6. ed. São Paulo: Atlas. 220 p.

LAUDON, K. C., & LAUDON, J. P. (2018). **Management Information Systems: Managing the Digital Firm**. New York: Pearson. 608 p.

MACEDO, M. de M. (2012) Gestão da produtividade nas empresas. **Revista Organização Sistêmica**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 110–119. Disponível em: <<https://www.revistasuninter.com/revistaorganizacaoSistemica/index.php/organizacaoSistemica/article/view/65>>. Acesso em: 16 jul. 2024

MARAZON, B.H.S. (2019) **Preparo do Solo para a cultura da cana-de-açúcar: alternativas e persistências**. 44p. Tese (Doutorado em Agronomia / Produção Vegetal) - UNESP, Jaboticabal.

MARIN, F. R. (2014) **Eficiência de produção da cana de açúcar brasileira: estado atual e cenários futuros baseados em simulações multimodelos**. 262 p. Tese (Livre Docência em Agrometeorologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, São Paulo.

MARCHWINSKI, C.; SHOOK, J. (2011) **Léxico Lean: Glossário ilustrado para praticantes do Pensamento Lean**. V5, São Paulo: Lean Institute Brasil. 130 p.

MENDONÇA, A.W; MOELLWALD, M.C.E; MAGO, D.D. (2014) **Metodologia para estudo de caso: livro didático**. Palhoça: UnisulVirtual. 99 p.

MONTEITH, J.L. (1977) Climate and the efficiency of crop production in Britain. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**. Series B, Biological Sciences, v.281, p.277-294

NEGRO, M., DURAZZO, M., MESQUITA, M., de CARVALHO, E.; ANDRADE, D. (2016) Studies on Production Planning of Dispersion Type U_3Si_2 -Al Fuel in Plate-Type Fuel Elements for Nuclear Research Reactors. **World Journal of Nuclear Science and Technology**, 6, 217-231. <doi: [10.4236/wjnst.2016.64023](https://doi.org/10.4236/wjnst.2016.64023)>. Acesso em: 01 jun. 2024

NOBRE, M. M.; OLIVEIRA, I. R. de. (2018) **Agricultura de baixo carbono: tecnologias e estratégias de implantação**. Brasília, DF: EMBRAPA, p. 178-180.

NOE, R. A. (2017). **Employee Training and Development**. New York: McGraw-Hill Education. 554 p.

PALADINI, E. P. (2019). **Gestão da Qualidade: Teoria e Prática**. São Paulo: Atlas. 339 p.

PPGG.(2012) **Planejamento estratégico, tático e operacional – parte 2/7**. Blog PPGG, 2012. Disponível em: <<https://blogpegg.wordpress.com/2012/08/10/planejamentos-estrategico-tatico-e-operacional-responsabilidades-e-orcamento-parte-2/>>. Acesso 01 mai de 2024.

ROBERTS, T.L. (2009) The role of fertilizer in growing the world’s food. **Better Crops with Plant Food**. 2ed. Int. Plant Nutrition Inst. Norcross, GA, USA. 4 p.

RODRIGUES, R. (2018) **Agro é Paz: Análises e propostas para o Brasil alimentar o mundo**. Piracicaba: ESALQ. 416 p.:

ROTHER, M., SHOOK, J. (2021). **Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate MUDA**. Lean Enterprise Institute. 102 p.

SÃO PAULO (Estado) (2002). **Lei Nº. 11.241, de 19 de setembro de 2002. Dispõe sobre eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar**. São Paulo: Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo [ALESP], 2002. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2002/lei-11241-19.09.2002.html>>. Acesso em: 15 out. 2023.

SÃO PAULO (Estado) (2017). **Mapas EDR e RA**. São Paulo: Instituto de Economia Agrícola [IEA]. 2017 Disponível em: < <http://www.iea.agricultura.sp.gov.br/out/mapa.php>> Acesso em: 14 set. 24.

SENTELHAS, P.C.; BATTISTI, R.; MONTEIRO, L.A.; DUARTE, Y.C.N.; VISSER, F.A. (2016) Yield gap - concepts, definitions and examples. **Informações Agronômicas**, n.155, p.9-12.

SICA, P.; CARVALHO, R.; BELTRAME, H.; BAPTISTA, A.S. (2020) **Avaliação dos Efeitos da Adição de Palha de Cana no Processo de Floculação/Coagulação na Concentração de Vinhaça** Acta Tecnológica Agrícola, 23 p.

SILVA, T. M. R. (2010) **Nutrição potássica na primeira soqueira de cana-de-açúcar cultivada em sistema de colheita sem despalha a fogo**. 2010. 58 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.

SILVA, L. L., & COSTA, C. E. (2021). **Manejo Agrônômico e Produtividade da Cana-de-Açúcar**. Viçosa, MG: Editora UFV. 213 p.

SLACK, N., BRANDON-JONES, A. and JOHNSTON, R. (2014) **Operations Management**. 7. ed. Nova Jersey: Prentice Hall, 2014. 768 p.

SMITH, A. (1776) **A Riqueza das Nações [The Wealth of Nations]**. London: W. Strahan and T. Cadell. 1776.

SOUZA, R. F.; SILVA, C. A. (2023) Efeito da Precipitação na Produtividade da Cana-de-Açúcar. Santa Maria: **Revista Ciência Rural**, 53(1), 102-115. 2023.

TROPALDI, L.; CARBONARI, C.A.; de BRITO, I.P.F.S.; de MATOS, A.K.A.; de MORAES, C.P.; VELINI, E.D (2021) Dynamics of Clomazone Formulations Combined with Sulfentrazone in Sugarcane (*Saccharum spp.*) Straw. **Agriculture** 2021, 11, 854. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/agriculture11090854>> Acesso em 23 jul. 24

VITTI, G.C.; MAZZA, J.A. (2002) Planejamento, estratégias de manejo e nutrição de cana-de-açúcar. **Informações Agronômicas**, n 97. Piracicaba: Potafos, 2002. 16 p.

WOLFF, L. F.; MEDEIROS, C. A. B. (Ed.). (2017) **Alternativas para a diversificação da agricultura familiar de base ecológica**. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, 2017. 145 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1081352>. Acesso em 01 Jan 2024