

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA**

**PRODUTIVIDADE, QUALIDADE INDUSTRIAL E NUTRICIONAL
DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB ADUBAÇÃO FOSFATADA
MINERAL E ORGÂNICA**

Autor: Evaldo Alves dos Santos
Orientador: Prof. Dr. Frederico Antonio Loureiro Soares

**RIO VERDE – GO
Março – 2024**

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA

**PRODUTIVIDADE, QUALIDADE INDUSTRIAL E NUTRICIONAL
DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB ADUBAÇÃO FOSFATADA
MINERAL E ORGÂNICA**

Autor: Evaldo Alves dos Santos
Orientador: Prof. Dr. Frederico Antonio Loureiro Soares
Coorientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira
Coorientador: Edson Cabral da Silva

Tese apresentada como parte das exigências para obtenção do título de DOUTOR EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Área de Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado.

RIO VERDE – GO
Março - 2024

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

SSA237 Santos, Evaldo Alves dos
p Produtividade, qualidade industrial e nutricional
da cana-de-açúcar sob adubação fosfatada mineral e
orgânica / Evaldo Alves dos Santos; orientador
Frederico Antonio Loureiro Soares; co-orientador
Marconi Batista Teixeira. -- Rio Verde, 2024.
120 p.

Tese (Doutorado em Ciências Agrárias - Agronomia) -
- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2024.

1. Saccharum officinarum spp.. 2. cama de frango.
3. efeito residual. 4. fertilizantes fosfatados. 5.
agricultura sustentável. I. Antonio Loureiro Soares,
Frederico , orient. II. Batista Teixeira, Marconi,
co-orient. III. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|---|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |
| <input type="checkbox"/> Produto técnico e educacional - Tipo: Tese Doutorado | |

Nome completo do autor:
Evaldo Alves dos Santos

Matrícula:
2020102320140110

Título do trabalho:
Produtividade, qualidade industrial e nutricional da cana-de-açúcar sob adubação fosfatada mineral e orgânica

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: / /

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde

21 / 03 / 2024

Local

Data

Evaldo Alves dos Santos

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

André Roberto Lourenço Soares

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 49/2024 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

PRODUTIVIDADE, QUALIDADE INDUSTRIAL E NUTRICIONAL DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB ADUBAÇÃO FOSFATADA MINERAL E ORGÂNICA.

Autor: Evaldo Alves dos Santos

Orientador: Dr. Frederico Antônio Loureiro Soares

TITULAÇÃO: Doutorado em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADA em, 21 de março de 2024.

Prof. Dr. Frederico Antônio Loureiro Soares (Presidente)

Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira (Avaliador interno)

Prof. Dr. Luis Sérgio Rodrigues Vale (Avaliador externo)

Prof. Dr. Edson Cabral da Silva (Avaliador interno)

Prof. Dr. Antônio Evami Cavalcante Sousa (Avaliador externo)

Documento assinado eletronicamente por:

- Edson Cabral da Silva, Edson Cabral da Silva - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (10651417000500), em 12/08/2024 10:16:40.
- Luis Sergio Rodrigues Vale, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 12/08/2024 09:55:39.
- Marconi Batista Teixeira, COORDENADOR(A) DE CURSO - FUC0001 - CCMDAGRO-R, em 12/08/2024 09:33:19.
- Antonio Evami Cavalcante Sousa, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 12/08/2024 09:26:03.
- Frederico Antonio Loureiro Soares, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 12/08/2024 09:24:43.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 18/03/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 584963

Código de Autenticação: 14d5ce56c0



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3624-1000

DEDICO

A DEUS, que me concedeu a vida e sempre iluminou meus caminhos.
Sem a Sua presença nada seria.

OFEREÇO

À minha família,

À minha querida mãe, Jacira Alves dos Santos, por todo amor e confiança que depositou em mim e, apesar dos sacrifícios não desistir de apoiar à minha educação. Aos meus irmãos, Eduardo Júnior dos Santos e Erirelton Carlos dos Santos, por estarem ao meu lado sempre que precisei. À minha tia, Edinalva Santos Rasmussen, por estar ao meu lado sempre que precisei, desde o início desta caminhada. Em especial ao meu pai Eduardo Alves dos Santos e o meu tio Kurt Rasmussen, que, mesmo não estando presente entre nós, mas em vida sempre dizia que a educação geraria conhecimento, posteriormente, sabedoria e que só um povo sábio poderia mudar seu destino.

AGRADECIMENTOS

Sou grato a Deus pela bênção da vida e por conceder a oportunidade de realizar tantos sonhos neste caminho que percorro.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, pela apoio e suporte desde a matrícula até a defesa da tese.

Aos órgãos de fomento FAPEG e CAPES, pela concessão da bolsa de estudos e o auxílio financeiro ao projeto de pesquisa de maneira geral.

Agradeço à Usina Denusa, pelo convite para estabelecermos uma parceria. Foi uma honra poder colaborar com a empresa e sua equipe.

Ao Professor Dr. Frederico Antonio Loureiro Soares, meu orientador, expresso minha gratidão pela orientação, competência, profissionalismo e dedicação demonstrados. Agradeço pelo voto de confiança, pelos estímulos, pela paciência e pelas correções sempre que necessárias. Estou certo de que não teria alcançado este patamar sem o seu apoio.

Ao coorientador, Dr. Prof. Marconi Batista Teixeira, agradeço pela sua disponibilidade e pelo apoio oferecido durante a elaboração deste trabalho.

Gostaria de expressar meu profundo agradecimento a Edson Cabral, por todo o apoio fornecido.

Aos amigos do Instituto Federal Goiano - Campus – Rio Verde, pelos trabalhos e disciplinas realizados em conjuntos e, principalmente, pela preocupação e apoio constantes. Obrigado pelo convívio e amizade!

À minha família, mãe, irmãos, primos(as) e tios(as), por apoiarem e compreenderem o meu isolamento em inúmeros encontros de família.

Aos professores do Colegiado de Pós-Graduação e aos funcionários da Instituição, pela disponibilidade, simpatia e gentileza. Obrigado pela ajuda!

Por fim, a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desta presente dissertação, o meu sincero agradecimento.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Evaldo Alves dos Santos, filho de Jacira Alves dos Santos e Eduardo Alves dos Santos (*in memoriam*), nasceu dia 28 de dezembro de 1989, na cidade de Uruaçu, Goiás. Estudou o ensino fundamental na cidade de Campos Verdes – GO, no Colégio Estadual Auristela de Loudes Machado, e o ensino médio no Colégio Estadual Edmundo Rocha. Em 2007, iniciou no curso Técnico em Agricultura no Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, antiga Escola Agrotécnica Federal de Ceres, finalizando em junho de 2008. No ano de 2011, na cidade de Goianésia, Goiás, ingressou no curso de Agronomia na Faculdade Evangélica de Goianésia e diplomou-se no ano de 2016. Em 2017, iniciou no curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado pelo Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, sob orientação do Professor Dr. Luís Sérgio Rodrigues Vale, obtendo o título de mestre em agosto de 2019. Em março de 2020, iniciou no curso de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, como bolsista (FAPEG/CAPES), sob orientação do Professor Dr. Frederico Antonio Loureiro Soares. Entre 2022 e 2023, cursou especialização em Proteção de Plantas na Universidade Federal de Viçosa, sob orientação do Professor Dr. Marcelo Picano.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE TABELAS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES	v
RESUMO	1
ABSTRACT.....	3
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	5
1.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	8
2 OBJETIVOS	10
2.1 Objetivo Geral	10
2.2 Objetivos Específicos	10
3 CAPÍTULO I.....	11
Fontes mineral e orgânica de fósforo na nutrição, produtividade e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar de primeiro corte.....	11
3.1 Introdução	11
3.2 Material e Métodos	13
3.2.1 Local do estudo	13
3.2.2 Delineamento experimental e material utilizado	15
3.2.3 Análises biométricas, nutricionais, industriais e produtividade	16
3.2.4 Análises estatísticas	17
3.3 Resultados	17
3.4 Discussão	23
3.4.1 A aplicação de diferentes doses de SFT e CF aumentam o teor foliar N, P, K, Mg e S foliar da cana-de-açúcar de primeiro corte	23
3.4.2 SFT e CF aumentam o teor foliar de B, Cu e Mn das plantas de cana-de-açúcar de primeiro corte	26
3.5 Conclusão	27
3.6 Referências.....	28
4 CAPÍTULO II	34
Uso da adubação fosfatada de fonte mineral e orgânica no teor nutricional, qualidade tecnológica e produtividade da primeira soqueira de cana-de-açúcar ..	34
4.1 Introdução	34
4.2 Materiais e métodos	36
4.2.1 Local de condução experimental.....	36
4.2.2 Tratamentos com fontes de fósforo mineral e orgânico	37

4.2.3 Crescimento e desenvolvimento.....	38
4.2.4 Características nutricionais	39
4.2.5 Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar	39
4.2.6 Produtividade de colmos	40
4.2.7 Análise de dados.....	40
4.3 Resultados	40
4.4 Discussão	55
4.4.1 Diferentes doses de Superfosfato triplo e Cama de frango afetam o crescimento e desenvolvimento da primeira soqueira da cana-de-açúcar.....	55
4.4.2 Teores de macro e micronutrientes nas folhas da primeira soqueira da cana-de-açúcar	56
4.4.3 Qualidades tecnológica da cana-de-açúcar	61
4.4.4 TCH da primeira soqueira da cana-de-açúcar	62
4.5 Conclusões	63
4.6 Referências.....	63
5 CAPÍTULO III.....	74
Efeito residual da adubação fosfatada mineral e orgânica com cama de frango na segunda soqueira de cana-de-açúcar.....	74
5.1 Introdução	74
5.2 Materiais e métodos	76
5.2.1 Local da condução experimental.....	76
5.2.2 Tratamentos e delineamento experimental com residual das aplicações de P mineral e orgânico	77
5.2.3 Crescimento e desenvolvimento de colmos	79
5.2.4 Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar	79
5.2.5 Produtividade	80
5.2.6 Análise dos dados.....	81
5.3 Resultados	81
5.4 Discussão	91
5.5 Conclusões	95
5.6 Referências.....	96
6 CONCLUSÃO GERAL.....	104

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO I - Fontes mineral e orgânica de fósforo na nutrição, produtividade e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar de primeiro corte

Tabela 1. Características químicas do solo da área experimental, nas camadas de 0,0–0,20 m e 0,20-0,40 m de profundidade, antes da implantação do experimento na Destilaria Nova União, zona rural do município de Jandaia – GO, Brasil.....14

Tabela 2. Resumo da análise de variância para altura de plantas (AP), diâmetro médio de colmo (DC), número de perfilhos (NP), teores foliar de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), açúcares totais recuperáveis (ATR), rendimento de açúcar (RAR), rendimento de álcool (RA) e toneladas de colmo por hectare (TCH) na cana-de-açúcar.....18

CAPÍTULO II - Uso da adubação fosfatada de fonte mineral e orgânica no teor nutricional, qualidade tecnológica e produtividade da primeira soqueira de cana-de-açúcar

Tabela 1. Resultados das análises químicas e granulométricas do solo, em amostras coletadas antes da instalação do experimento.....37

Tabela 2. Resumo da análise de variância para altura de plantas (AP), diâmetro médio do colmo (DC) e número de perfilhos (NP), teor foliar de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), e açúcares totais recuperáveis (ATR), rendimento de açúcar (RAR), rendimento de álcool (RA) e produtividade em toneladas de colmo por hectare (TCH) da primeira soqueira de cana-de-açúcar em função de doses de superfosfato triplo (STF) e cama de frango (CF).....41

5 CAPÍTULO III - Efeito residual da adubação fosfatada mineral e orgânica com cama de frango na segunda soqueira de cana-de-açúcar

Tabela 1. Altura de plantas (AP), diâmetro médio do colmo (DC) e número de perfilhos (NP), produtividade em toneladas de colmo por hectare (TCH), açúcar total recuperável (ATR), sólidos solúveis totais (°Brix), teor de fibra (FIBRA), pureza aparente do caldo (PZA), pol do caldo (POL), rendimento de açúcar (RAR) e rendimento de álcool (RAR) no ciclo da segunda soqueira da cana-de-açúcar, em razão do efeito residual de doses de superfosfato triplo e de cama de frango.....82

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I - Fontes mineral e orgânica de fósforo na nutrição, produtividade e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar de primeiro corte

Figura 1. Precipitação mensal e temperatura para cada safra. As lacunas nos resultados de precipitação significam zero.....13

Figura 2. Teor foliar de nitrogênio (N) na cana-de-açúcar em função das doses de superfosfato triplo (A), teor foliar de nitrogênio na cana-de-açúcar em função das doses de cama de frango (B), teor de fósforo (P) na cana-de-açúcar em função das doses de superfosfato triplo (C) e teor foliar de fósforo na cana-de-açúcar em função das doses de cama de frango na cana-de-açúcar (D).....19

Figura 3. Teor foliar de potássio (K) na cana-de-açúcar sob desdobramento das doses de superfosfato triplo dentro de cada dose de cama de frango (A) e desdobramento de doses de cama de frango dentro de cada dose de superfosfato triplo (B).....20

Figura 4. Teor foliar de magnésio (Mg) sob desdobramento das doses de superfosfato triplo dentro de cada dose de cama de frango (A) e desdobramento de doses de cama de frango dentro de cada dose de superfosfato triplo (B) na cana-de-açúcar.....21

Figura 5. Teor foliar de enxofre (S) (A) e boro (B) (B) da cana-de-açúcar em função das doses de superfosfato triplo.....21

Figura 6. Teor foliar de cobre (Cu) sob desdobramento das doses de superfosfato triplo dentro de cada dose de cama de frango (A) e desdobramento de doses de cama de frango dentro de cada dose de superfosfato triplo (B) na cana-de-açúcar.....22

Figura 7. Teor foliar de manganês (Mn) da cana-de-açúcar em função das doses de cama de frango.....23

CAPÍTULO II - Uso da adubação fosfatada de fonte mineral e orgânica no teor nutricional, qualidade tecnológica e produtividade da primeira soqueira de cana-de-açúcar

Figura 1. Precipitação pluvial mensal e temperatura da primeira soqueira de cana-de-açúcar. As lacunas nos resultados de precipitação significam zero. A temperatura foi registrada pela estação meteorológica instalada no campo experimental.....36

Figura 2. Altura de plantas de cana-de-açúcar em função das doses de superfosfato triplo e cama de frango (A e B), diâmetro de colmo e número de perfilhos sob desdobramento das doses de superfosfato triplo dentro de cada dose de cama de frango (C e E) e diâmetro de colmo e número de perfilhos sob desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo (D e F).....42

Figura 3. Teor foliar de nitrogênio (N) e fósforo (P) na cana-de-açúcar sob desdobramento das doses de superfosfato triplo dentro de cada dose de cama de frango (A e C), desdobramento de doses de cama de frango dentro de cada dose de superfosfato

triplo (B e D) e teor foliar de potássio (K) na primeira soqueira de cana-de-açúcar em função das doses de cama de frango (E).....44

Figura 4. Teor foliar de cálcio (Ca) na primeira soqueira de cana-de-açúcar em função das doses de cama de frango (A), teor foliar de cálcio na cana-de-açúcar em função das doses de superfosfato triplo (B), teor foliar de enxofre (S) na cana-de-açúcar sob desdobramento das doses de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango (C), desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo (D) e teor foliar de magnésio (Mg) na primeira soqueira de cana-de-açúcar em função das doses de cama de frango (E).....46

Figura 5. Teor foliar de boro (B) na primeira soqueira de cana-de-açúcar sob desdobramento das doses de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango (A), teor foliar de boro na cana-de-açúcar sob desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo (B), teor foliar de cobre (Cu) na cana-de-açúcar sob desdobramento das doses de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango (C), teor foliar de cobre na cana-de-açúcar sob desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo (D), teor foliar de ferro (Fe) na cana-de-açúcar sob desdobramento das doses de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango (E) e teor foliar de ferro na cana-de-açúcar sob desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo (F).....48

Figura 6. Teor foliar de manganês (Mn) na primeira soqueira de cana-de-açúcar sob desdobramento das doses de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango (A), teor foliar de manganês na cana-de-açúcar sob desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo (B), teor foliar de zinco (Zn) na cana-de-açúcar sob desdobramento das doses de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango (C) e teor foliar de zinco na cana-de-açúcar sob desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo (D).....50

Figura 7. Açúcares totais recuperáveis (ATR) na primeira soqueira de cana-de-açúcar sob desdobramento das doses de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango (A), açúcares totais recuperáveis da cana-de-açúcar sob desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo (B), rendimento de açúcar da cana-de-açúcar sob desdobramento das doses de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango (C), rendimento de açúcar da cana-de-açúcar sob desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo (D), rendimento de álcool da cana-de-açúcar sob desdobramento das doses de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango (E), rendimento de álcool da cana-de-açúcar sob desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo (F), produtividade de colmo por hectare da cana-de-açúcar em função das doses de superfosfato triplo (G), produtividade de colmo por hectare da cana-de-açúcar em função das doses de cama de frango (H).....52

5 CAPÍTULO III - Efeito residual da adubação fosfatada mineral e orgânica com cama de frango na segunda soqueira de cana-de-açúcar

Figura 1. Precipitação mensal e temperatura para cada safra. As lacunas nos resultados de precipitação significam zero.....77

Figura 2. Altura de plantas (A), diâmetro médio do colmo (B) e número de perfilhos (C) na cana-de-açúcar em função do desdobramento das doses precedentes de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango e Altura de plantas (C), diâmetro médio do colmo (D) e número de perfilhos (E) em função do desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo, em razão do efeito residual de doses aplicadas nos ciclos precedentes.....84

Figura 3. Produtividade de colmo por hectare da cana-de-açúcar em função do desdobramento das doses de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango (A) e produtividade de colmo por hectare em função do desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo (B), aplicadas nos ciclos precedentes.....85

Figura 4. Açúcar total recuperável da cana-de-açúcar em função das doses de cama de frango (A), sólidos solúveis totais da cana-de-açúcar em função das doses de cama de frango (B), teor de fibra da cana-de-açúcar em função do desdobramento das doses de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango (C) e teor de fibra da cana-de-açúcar em função do desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo (D) em razão do efeito residual de doses aplicadas nos ciclos precedentes.....87

Figura 5. Pureza aparente do caldo da cana-de-açúcar em função das doses de cama de frango (A), rendimento de açúcar (B) e rendimento de álcool (C) em função do desdobramento das doses de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango, pol do caldo da cana-de-açúcar em função das doses de cama de frango (D), rendimento de açúcar (E) e rendimento de álcool (F) em função do desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo, em razão do efeito residual de doses aplicadas nos ciclos precedentes.....89

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo / Sigla	Significado
%	Porcentagem
*	Significativo a 5% de probabilidade
**	Significativo a 1 de probabilidade
AÇU	Açúcar
Al ³⁺ (cmol c dm ⁻³)	Alumínio
ALC	Álcool
ATR (kg t ha ⁻¹)	Açúcar total recuperável
B (g kg ⁻¹)	Boro
BRIX	Sólidos solúveis totais
Ca (cmol c dm ⁻³)	Cálcio
cm	Centímetro
COT	Carbono orgânico total
Cu (mg dm ⁻³)	Cobre
CF	Cama de Frango
CV	Coefficiente de variação
Fe (mg dm ⁻³)	Ferro
FIBRA	Fibra industrial
FM	Fator mineral
FO	Fator orgânico
GL	Grau de liberdade
H	Hidrogênio
K (cmol c dm ⁻³)	Potássio
Kg	Quilogramas
m	Metro
M.O	Matéria orgânica
Mg (cmol c dm ⁻³)	Magnésio
Mn (mg dm ⁻³)	Manganês
N	Nitrogênio
°C	Graus célsius
P (mg dm ⁻³)	Fósforo
pH	Potencial hidrogeniônico
PN	Poder de neutralização do corretivo
POL	Pol do caldo da cana-de-açúcar
PRNT	Poder Relativo de neutralização total
PROD	Produtividade
PUR	Pureza
QM	Quadrado Médio
S (mg dm ⁻³)	Enxofre
SB	Soma de bases
SFT	Superfosfato triplo
t ha ⁻¹	Tonelada por hectare
V (%)	Porcentagem de saturação por bases
Zn (mg dm ⁻³)	Zinco

RESUMO

SANTOS, E. A. dos. **Produtividade, qualidade industrial e nutricional da cana-de-açúcar sob adubação fosfatada mineral e orgânica**. 2024. 120p. Tese. Doutorado em Ciências Agrárias – Agronomia. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, Brasil.

A busca por sistemas sustentáveis de produção sob os aspectos técnicos, econômicos e ambientais tem sido uma constante. Nesse sentido, é preciso que os produtores de cana-de-açúcar tenham novas alternativas viáveis de manejo, quanto à utilização de fertilizantes minerais de fontes não renováveis. Deste modo, a utilização da cama de frango tem sido uma alternativa importante para o suprimento de macro e micronutrientes. A hipótese testada neste estudo foi a eficácia comparativa entre o uso do superfosfato triplo como fósforo mineral e o uso da cama de frango como fonte de fósforo orgânico e o efeito residual das aplicações subsequentes. Foi realizado experimentos a campo, na Destilaria Nova União S/A, localizado na zona rural do município de Jandaia, Goiás, Brasil. O delineamento foi em blocos ao acaso, com o esquema fatorial de 5 x 5, composto por 25 tratamentos (cinco doses de superfosfato triplo (SFT): 0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹ e cinco doses de cama de frango (CF): 0, 2, 4, 6 e 8 t ha⁻¹), com quatro repetições e avaliando três safras (2019/2020 – cana-planta), (2020/2021 – primeira-soqueira) e (2020/2021 – segunda-soqueira). No capítulo I foram abordadas as variáveis avaliadas: altura de plantas (AP), diâmetro médio de colmo (DC), número de perfilhos (NP), teores foliar de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), açúcares totais recuperáveis (ATR), rendimento de açúcar (RAR), rendimento de álcool (RA) e toneladas de colmo por hectare (TCH) na cana-de-açúcar. No entanto, observa-se que as doses de SFT e CF não influenciaram na altura de plantas, diâmetro médio, número de perfilhos, produtividade e qualidade tecnológica. Além disso, constatou-se que aplicação de 8 t ha⁻¹ CF elevou o teor nutricional de P. Além disso, constatou-se que a adubação com STF aumenta a concentração foliar de P e S com as doses de 240 e 129,29 kg ha⁻¹. Já a adubação com CF eleva os teores de Mn e Cu foliar com aplicação de 8 e 6,24 t ha⁻¹. Para os nutrientes K e Cu, a aplicação consorciada do SFT e CF permite maximizar o desempenho do K e Cu nas doses de 9,99 t ha⁻¹ de CF + 120 kg ha⁻¹ de SFT. No capítulo II foram abordadas as variáveis avaliadas no capítulo I. Foi confirmada a hipótese que o uso do superfosfato triplo junto com a cama de frango influencia de maneira positiva no teor de nutrientes foliar da primeira soqueira de cana-de-açúcar, com reflexo na elevação crescimento, desenvolvimentos, parâmetros tecnológicos e produção. A utilização do SFT e CF, na primeira soqueira de cana-de-açúcar, promove crescimento e desenvolvimento das plantas. Os ganhos de produtividade foram de 11,63 e 9,67 % nas doses estimadas de 4,67 t ha⁻¹ CF e 138,10 kg ha⁻¹. Para o ATR, os ganhos foram a partir da interação de 4,55 t ha⁻¹ de CF na dose 0 kg ha⁻¹ de SFT obtendo 165,09 kg t ha⁻¹. A interação dos adubos mineral e orgânico na dose de 8 t ha⁻¹ CF com 120 kg ha⁻¹ SFT obtêm maior concentração de P; 115,65 kg ha⁻¹ SFT com 8 t ha⁻¹ (3,20 g kg⁻¹). No capítulo III estabeleceu-se a hipótese que as fontes de P mineral e orgânica, aplicadas no plantio da cana-planta e na primeira soqueira da cana-de-açúcar, proporcionam efeito residual na segunda soqueira, suprimindo a demanda do nutriente e a combinação das fontes de P em aplicações anteriores maximiza o desempenho agrônomo e qualidade tecnológica da segunda soqueira. O residual das aplicações subsequentes de SFT e CF influencia positivamente no crescimento e desenvolvimento da segunda soqueira de cana-de-açúcar.

Os tratamentos que receberam as doses de 8 t ha⁻¹ de CF em dose 240 kg ha⁻¹ de SFT alcançaram maior produtividade (119,36 t ha⁻¹). A eficiência do P residual no ATR, BRIX e pol foi no residual de CF com dose máxima de 8 t ha⁻¹.

PALAVRAS-CHAVE: *Saccharum officinarum* spp., cama de frango, efeito residual, fertilizantes fosfatados, agricultura sustentável.

ABSTRACT

SANTOS, E. A. dos. **Productivity, industrial and nutritional quality of sugarcane under mineral and organic phosphate fertilization.** 2024. 120p. Thesis. Doctorate in Agricultural Sciences – Agronomy. Federal Institute of Goiás – Rio Verde Campus – GO, Brazil.

The search for sustainable production systems from technical, economic, and environmental perspectives has been ongoing. In this context, sugarcane producers need viable new management alternatives to use mineral fertilizers derived from non-renewable sources. Thus, the poultry litter use has become an important alternative for to supply of macro and micronutrients. The hypothesis tested in this study was the comparative effectiveness between the use of triple superphosphate as a mineral phosphorus source and poultry litter as an organic phosphorus source, as well as the residual effect of subsequent applications. Field experiments were conducted at Destilaria Nova União S/A, located in the rural area of Jandaia, Goiás, Brazil. The experimental design was a randomized block with a 5 x 5 factorial scheme, comprising 25 treatments (five doses of triple superphosphate (TSP): 0, 60, 120, 180, and 240 kg ha⁻¹, and five doses of poultry litter (PL): 0, 2, 4, 6, and 8 t ha⁻¹), with four replications, evaluating three harvests (2019/2020 – plant cane), (2020/2021 – first ratoon), and (2020/2021 – second ratoon). In Chapter I, the evaluated variables were plant height (PH), average stalk diameter (SD), number of tillers (NT), foliar contents of nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), sulfur (S), boron (B), copper (Cu), iron (Fe), manganese (Mn), zinc (Zn), recoverable total sugars (RTS), sugar yield (SY), alcohol yield (AY), and tons of cane per hectare (TCH) in sugarcane. However, it was observed that TSP and PL doses did not influence plant height, average diameter, number of tillers, productivity, and technological quality. Moreover, it was found that the PL application of 8 t ha⁻¹ increased the nutritional content of P. Furthermore, it was observed that fertilization with TSP increases the foliar concentration of P and S with doses of 240 and 129.29 kg ha⁻¹. Fertilization with PL increases the foliar contents of Mn and Cu with the application of 8 and 6.24 t ha⁻¹. For the nutrients K and Cu, the combined TSP and PL application maximizes the performance of K and Cu at doses of 9.99 t ha⁻¹ of PL + 120 kg ha⁻¹ of TSP. In Chapter II, the variables evaluated in Chapter I were addressed. The hypothesis that the use of triple superphosphate together with poultry litter can positively influence the foliar nutrient content of the first ratoon sugarcane, with a reflection on increased growth, development, technological parameters, and production was confirmed. The TSP and PL use in the first ratoon sugarcane promotes the growth and development of the plants. Productivity gains were 11.63% and 9.67% at the estimated doses of 4.67 t ha⁻¹ PL and 138.10 kg ha⁻¹. For RTS, the gains came from the interaction of 4.55 t ha⁻¹ of PL at the 0 kg ha⁻¹ dose of TSP, obtaining 165.09 kg t ha⁻¹. The interaction of mineral and organic fertilizers at a dose of 8 t ha⁻¹ PL with 120 kg ha⁻¹ TSP resulted in a higher concentration of P; 115.65 kg ha⁻¹ TSP with 8 t ha⁻¹ (3.20 g kg⁻¹). In Chapter III, the hypothesis was established that mineral and organic P sources, applied at the planting of plant cane and in the first ratoon sugarcane, provide a residual effect in the second ratoon, which meets the nutrient demand and that the combination of P sources in previous applications maximizes the agronomic performance and technological quality of the second ratoon. The residual effect of subsequent TSP and PL applications positively influences the growth and development of the second ratoon sugarcane. The treatments that received doses of 8 t ha⁻¹ PL within the 240 kg ha⁻¹ dose of TSP achieved

the highest productivity (119.36 t ha⁻¹). The efficiency of residual P in RTS, BRIX, and POL was seen in the residual PL at the maximum dose of 8 t ha⁻¹.

KEYWORDS: *Saccharum officinarum* spp., poultry litter, residual effect, phosphate fertilizers, sustainable agriculture.

1 INTRODUÇÃO GERAL

A crescente demanda por energia renovável e o aumento da produção e da procura por etanol de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) tornam o Brasil o maior produtor mundial e o maior exportador de biocombustíveis (LIMA *et al.*, 2020; CONAB, 2023; CASTILLO *et al.*, 2019).

A cana-de-açúcar desempenha papel crucial na economia brasileira, sendo uma das culturas mais importantes e versáteis do país. O Brasil é líder mundial na produção de cana-de-açúcar, com total de 677,6 milhões de t ha⁻¹ na safra 2023/2024, com crescimento de 5,4% quando comparado a safra anterior (CONAB, 2023). Mesmo a safra tendo sofrido aos baixos índices pluviométricos, a cana-açúcar obteve a produtividade média nacional de 81,13 t ha⁻¹, 10,9% superior a alcançada na temporada 2022/23.

A área plantada de cana-de-açúcar no Brasil é de 8,35 milhões ha⁻¹ (CONAB, 2023). A região Centro-Oeste é responsável por 1,79 milhão de hectares de cana-de-açúcar, tendo crescimento de 1,5%. Essa região é caracterizada pelo bioma Cerrado. O bioma Cerrado é caracterizado pela alta capacidade de possuir solos intemperados, sendo predominantemente em Latossolo com baixa fertilidade natural. Isso requer o uso de doses altas de fertilizante, especialmente o fósforo, tornando-o um componente importante no custo de produção (GARCIA *et al.*, 2022).

O fósforo (P) é um dos nutrientes fundamentais para o crescimento das plantas, participando de processos metabólicos, como a fotossíntese e da composição de moléculas orgânicas, como o ATP. O fósforo encontrado nos fertilizantes é extraído de rochas fosfáticas, cujas principais fontes estão localizadas na China, Estados Unidos, Marrocos, Rússia, Tunísia, Brasil e Jordânia (PANTANO *et al.*, 2016). No Brasil, os adubos fosfatados são o segundo mais utilizado na agricultura (33%) cana-de-açúcar, soja e milho são responsáveis por 72% do consumo desses fertilizantes (MAPA, 2023). A Associação Nacional para a Difusão de Adubos (2023) divulgou que mais de 60% dos adubos fosfatados utilizados na agricultura brasileira são importados, causando desembolso médio anual de R\$ 24,79 bilhões (ANDA, 2023).

O superfosfato triplo destaca-se como uma das principais fontes minerais solúveis de P utilizada no Brasil. Oriundo de rochas fosfatadas, totalmente aciduladas, sendo reativo e apresenta elevada disponibilidade inicial de P para as plantas (SANTOS *et al.*, 2008).

Nos solos brasileiros, especialmente no Cerrado, a disponibilidade natural do fósforo (P) é baixa. Essa condição torna a adubação fosfatada essencial para obter

elevadas produções agrícolas nessa região. Além disso, outro aspecto desses solos é a alta presença de cargas positivas, que aumenta a capacidade de fixação do fósforo nos colóides do solo. Isso, limita a absorção pelas plantas, resultando na recomendação de doses mais elevadas de fertilizantes fosfatados (ROY *et al.*, 2016; SOUSA; LOBATO, 2004).

Tornar o nutriente fósforo (P) disponível para as plantas é uma das principais missões dos pesquisadores. Reduzir os custos associados aos adubos fosfatos, diminuir a dependência de importações de fertilizantes e aproveitar os recursos naturais, tem sido bastante proposto. Com isso, o uso de fontes alternativas de P, destacando-se os resíduos orgânicos, torna-se uma opção viável, pois na composição estão presentes elevadas quantidades de carbono, hidrogênio, oxigênio, além dos macros e micronutrientes essenciais (SILVA, 2008).

Nos adubos orgânicos, a liberação dos nutrientes ocorre gradualmente à medida que se decompõem, proporcionando suprimento constante de nutrientes às plantas ao longo do ciclo de crescimento (GUIMARÃES *et al.*, 2016). Como grande produtor no setor galináceos, o Brasil lidera na exportação mundial de carne de frango, produzindo 14,3 milhões de toneladas (1.586.047.875 de aves abatidas), gerando US\$ 5,6 bilhões, tendo aumento de 33,3% na receita registrado no mesmo período na safra anterior (IBGE, 2022; SIC/CGU, 2022).

O Estado de Goiás é responsável pelo abate 102.851.347 cabeças no setor galináceos (IBGE, 2022). A Região Centro-Oeste tem se destacado como a nova fronteira para a produção de frangos de corte no Brasil. Nessa região, o município de Rio Verde - GO é o que mais tem recebido investimentos para construção de granjas, por ser a sede do Projeto Buriti, caracterizado pela elevada escala de produção por granja, tecnologia climatizada e integração com médios e grandes produtores rurais. Considerando a ampliação da avicultura nessa região, a cama de frango é excelente alternativa como fonte de P.

Ribeiro *et al.* (2015), avaliando doses de fósforo, não identificaram diferença significativa na produtividade da cana-de-açúcar. Santos *et al.* (2009) observaram que na ausência da adubação fosfatada, limita a produtividade da cana-de-açúcar. A longevidade da cana-de-açúcar está relacionada ao desenvolvimento radicular, associada à recomendação básica dos nutrientes, em destaque o P (BUSATO; CANELLAS; VELLOSO, 2005; DEMATTÊ, 2005; MAZZA *et al.*, 1994; VITTI; MAZZA, 2002).

Apesar do P ser o macronutriente menos exportado pela cana-de-açúcar, a baixa disponibilidade no solo afeta negativamente no desenvolvimento, resultando em menor produtividade da cana (SANTOS *et al.*, 2009; ROSSETO; DIAS, 2005; TASSO JÚNIOR, 2007). Portanto, torna-se indispensável a definição da dose de adubos fosfatados de fontes de P mineral e orgânico em solos do Cerrado, testando o desempenho nas formas de aplicação e a disponibilidade deste nutriente para a produção, qualidade tecnológica e nutricional da cana-de-açúcar.

produtividade, qualidade industrial e nutricional da cana-de-açúcar sob adubação fosfatada mineral e orgânica

Esta tese explora a eficácia de diferentes fontes de adubação fosfatada, no cultivo de cana-de-açúcar. No Capítulo I, é explorado o impacto da adubação fosfatada mineral e orgânica, especificamente o uso de superfosfato triplo e cama de frango, no crescimento, desenvolvimento, produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, analisando a eficiência e a resposta da cultura em termos de absorção de nutrientes. O Capítulo II examina a replicação da adubação fosfatada mineral e orgânica na primeira soqueira da cana-de-açúcar. Finalmente, no Capítulo III, é avaliado o efeito residual da adubação fosfatada aplicadas nas safras subsequentes à segunda-soqueira de cana-de-açúcar sob o desempenho da cultura. Juntos, esses capítulos fornecem uma compreensão abrangente das estratégias de manejo do fósforo no solo e as implicações para a sustentabilidade agrícola.

1.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDA. Associação Nacional para a Difusão de Adubos. 2023. Disponível em: <https://anda.org.br/arquivos/>. Acesso em: 01 de fevereiro de 2024.

BUSATO, J. G.; CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X. Fósforo num Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. I: Fracionamento seqüencial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 935-945, 2005.

CASTILLO R. M.; FENG, K.; SUN, L.; GUILHOTO, J.; PFISTER, S.; MIRALLES-WILHELM, F.; HUBACEK, K. The land-water nexus of biofuel production in Brazil: Analysis of synergies and trade-offs using a multiregional input-output model. **Journal of Cleaner Production**, v. 214, p. 52-61, 2019.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: Nono levantamento, novembro 2023 – safra 2023/2024. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5295-producao-de-cana-de-acucar-cresce-10-9-estimada-em-677-6-milhoes-de-toneladas-na-safra-2023-24>. Acesso em: 01 de fevereiro de 2024.

DEMATTE, J. L. I. Cultura da cana-de-açúcar. Recuperação e manutenção da fertilidade dos solos. **Visão agrícola**, v. 1, p. 48-59, 2005.

GARCIA, J. C.; MENDES, M. B.; MENDES, M. B. Fontes de fósforo mineral e organomineral no estado nutricional e no crescimento inicial da cana-de-açúcar / Sources of mineral and organomineral phosphate in the nutrition status and initial growth of sugarcane. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 5, p. 2003–2013, 2022.

GUIMARÃES, G.; LANA, R. DE P.; REI, R. DE S.; VELOSO, C. M.; SOUSA, M. R. DE M.; RODRIGUES, R. C.; CAMPOS, S. DE A. Produção de cana-de-açúcar adubada com cama de frango. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 17, p. 617–625, 2016.

IBGE. Instituto brasileiro de geografia e estatística. Produção Agropecuária Brasileira. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/br>. Acesso em: 01 de fevereiro de 2024.

LIMA, M.A.; MENDES, L.F.R.; MOTHÉ, G.A.; LINHARES, F.G.; DE CASTRO M.P.P.; M.G.; DA SILVA, M.S. Sthel. Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: Reaching the goals of the Paris agreement in Brazil. **Environmental Development**, v. 33, p. 1-13, 2020.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2023. Plano Nacional de Fertilizantes — Ministério da Agricultura e Pecuária. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/plano-nacional-de-fertilizantes/o-plano-nacional-de-fertilizantes>. Acesso em: 01 de fevereiro de 2024.

MAZZA, J.A.; VITTI, G.C.; PEREIRA, H.S.; MENEZES, G.M.; TAGLIARINI, C.H. Influência da compactação no desenvolvimento do sistema radicular de citros: sugestão

de método qualitativo de avaliação e recomendação de manejo. **Revista Laranja**, v. 15, p. 263-275, 1994.

PANTANO, G.; GROSSELI, G. M.; MOZETO, A. A.; FADINI, P. S. Sustentabilidade no uso do fósforo: Uma questão de segurança hídrica e alimentar. **Quim. Nova**, v. 39, p. 732-740, 2016.

RIBEIRO, F. C.; SILVA, J. I. C.; SARAIVA, A. S.; BARRO FILHO, C. D.; ARAÚJO, R. J. T.; ERASMO, E. A. L. Cana de açúcar no cenário energético tocantinense: influência da adubação química sobre variáveis agroindustriais. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 4, p. 24-37, 2015.

ROSSETO, R.; DIAS, F. L. F. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar: indagações e reflexões. **Encarte do Informações Agrônomicas**, 110 p., 2005.

ROY, E. D.; RICHARDS, P. D.; MARTINELLI, L. A.; COLETTA, L. D.; LINS, S. R. M.; VAZQUEZ, F. F.; WILLING, E.; SPERA, S. A.; VANWEY, L. K.; PORDER, S. The phosphorus cost of agricultural intensification in the tropics. **Nature Plants**, v. 2, p. 16-43, 2016.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 38, p. 576-586, 2008.

SANTOS, V. R.; MOURA FILHO, G.; ALBUQUERQUE, A. W.; COSTA, J. P. V.; SANTOS, C. G.; SANTOS, A. C. I. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 389-396, 2009.

SIC/CGU. Serviço de Informações ao Cidadão da Controladoria-Geral da União. [Brasília]: SIC/CGU. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/financas-impostos-e-gestao-publica/2022/09/brasil-lidera-ranking-mundial-de-exportacao-de-carne-de-frango>. Acesso em: 01 de fevereiro de 2024.

SILVA, C. A. Uso de resíduos orgânicos na agricultura. Em: SANTOS, G. A.; et al. (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed. Porto Alegre: **Metrópole**. 2008.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica/Embrapa-CPA, 416 p., 2004.

TASSO JUNIOR, L.C.; MARQUES, M.O.; CAMILOTTI, F.; SILVA, T. Extração e exportação de macronutrientes em cinco variedades de cana-de-açúcar cultivadas na região centro-norte do Estado de São Paulo. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 25, p. 38-42, 2007.

VITTI, G. C.; MAZZA, J. A. Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar. Informações agrônomicas. Piracicaba: **Potafós**. 16 p., 2002.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar diferentes doses de fósforo mineral e orgânico no ciclo da cana-planta, da cana-soca e o residual da adubação fosfatada na produtividade, qualidade industrial, o rendimento bruto de açúcar, de álcool no ciclo subsequente e o estado nutricional da cana-de-açúcar no primeiro e segundo cortes.

2.2 Objetivos Específicos

Determinar a dose de fósforo orgânico e mineral que proporcione a maior produtividade, rendimento de açúcar e de álcool para a cana-de-açúcar.

Analisar o estado nutricional da cana-de-açúcar, submetido à adubação fosfatada mineral e orgânica em diferentes doses.

Avaliar o efeito residual da adubação fosfatada orgânica e mineral na produtividade e na qualidade industrial da cana-de-açúcar.

3 CAPÍTULO I

Fontes mineral e orgânica de fósforo na nutrição, produtividade e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar de primeiro corte

(Normas de acordo com a revista Agronomy-MDPI base)

Resumo

A produção de cana-de-açúcar em solos do Cerrado necessita de grandes quantidades de P, devido porque o solo necessita de grandes quantidades desse nutriente. Portanto, buscas constantes são promovidas para encontrar alternativas sustentáveis na aplicação racional de fertilizantes fosfatados. Este trabalho investigou o efeito de diferentes doses de superfosfato triplo e cama de frango sobre a produção, qualidade industrial e nutricionais da cana-de-açúcar de primeiro corte (IACSP95-5094). O estudo foi desenvolvido em condições de campo, em um Latossolo Vermelho eutrófico, fase cerrado, localizado na Destilaria Nova União S/A, na Região Sudoeste de Goiás, Brazil. O delineado experimental foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial 5 x 5, com quatro repetições. Os tratamentos foram cinco doses de superfosfato triplo (0; 60; 120; 180 e 240 kg ha⁻¹) e cinco doses de cama de frango (0; 2; 4; 6 e 8 t ha⁻¹). As variáveis avaliadas foram o estado nutricional da planta, a produtividade de colmos e a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. A produtividade de colmos e a qualidade tecnológica não diferiram com as doses de superfosfato triplo e cama de frango. No entanto, a cama de frango pode substituir o uso de superfosfato triplo no fornecimento macro e micronutrientes às plantas. As doses de 240 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo e 8 t ha⁻¹ de cama de frango afetaram positivamente o teor de P foliar da cana de primeiro corte. Em relação à concentração de P, a aplicação combinada de 9,99 t ha⁻¹ de cama de frango com 120 kg ha⁻¹ de SFT pode ser feita para alcançar alto teor de K foliar. Portanto, a cama de frango promove a disponibilidade de nutrientes para a cana-de-açúcar, que proporciona qualidade nutricional adequada à cana-de-açúcar de primeiro corte.

Palavras-chave: *Saccharum officinarum*; adubação fosfatada; cama de frango; nutrição de plantas; qualidade industrial.

3.1 Introdução

Dentre os macronutrientes que afetam a produtividade e a qualidade nutricional da cana-de-açúcar, o fósforo (P) é o que apresenta menor eficiência de uso na produção agrícola (Borges *et al.*, 2019). A disponibilidade de fósforo (P) nesta cultura é afetada pelo tipo de fonte de P (Baligar e Baligar, 1986; Borges *et al.*, 2019).

O fornecimento inadequado de fósforo não apenas restringe os rendimentos economicamente viáveis e a utilização eficiente de outros nutrientes, como o nitrogênio,

mas representa uma ameaça à segurança alimentar da população global em expansão (FAO, 2008).

Em solos do Cerrado, o fósforo é o nutriente que mais limita a produção nesse ecossistema (Lambers *et al.*, 2020; Gomes *et al.*, 2019). Nesses solos, a taxa média de aplicação de P_2O_5 é de 90 kg ha^{-1} (Aguiar *et al.*, 2014; Embrapa, 2015). Grandes quantidades desses elementos são aplicadas às culturas, porém 5 a 20% de todo fósforo é utilizado pelas plantas e o restante é adsorvido e fixado pelos minerais do solo, especialmente argilas e óxidos de ferro e alumínio (Alovisi *et al.*, 2020; Chien *et al.*, 2009).

O superfosfato triplo é o fosfato solúvel em água mais vendido no Brasil. Ele aumenta o teor de P do solo em curto prazo, no entanto, sua disponibilidade diminui ao longo do tempo (Ebrahimi e Ojani, 2024). Os solos do Cerrado destacam-se pela capacidade significativa de adsorção de fósforo, sendo uma das características que influenciam a disponibilidade do P (Alovisi *et al.*, 2020; Abdala *et al.*, 2018; Rodrigues *et al.*, 2016; Sanchez e Uehara, 1980).

Nos últimos anos, estudos foram feitos para transacionar o manejo sustentável do P na agricultura brasileira através da redução de uso de fertilizantes fosfatados minerais (Withers *et al.*, 2018; Vasconcelos *et al.*, 2017; Caione *et al.*, 2015). Isso por sua vez, desencadeou a busca por fontes alternativas de P, geralmente resíduos gerado por aves, que podem servir não apenas como fonte P, mas para controlar a liberação desse nutriente produzindo fertilizantes fosfatados mais sustentáveis (Nascimento *et al.*, 2021).

Quando se refere à reciclagem de resíduos orgânicos agrícolas para produção de fertilizantes organominerais ou composto orgânico, a cama de frango representa uma alternativa aos fertilizantes fosfatados tradicionais, altamente solúveis e de elevado custo (Withers *et al.*, 2018; Vasconcelos *et al.*, 2017; Guimarães *et al.*, 2016).

De maneira geral, a utilização de fertilizantes orgânicos é promissora, proporcionando melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, por ser rico em matéria orgânica e nutrientes para o sistema solo-planta (Singh *et al.*, 2020; Usharani *et al.*, 2019).

Além de o fornecimento de P, a cama de frango também fornece outros nutrientes em concentrações adequadas para atender o desenvolvimento das plantas. (Ashworth *et al.*, 2020). Dessa maneira, estudos sobre a utilização de fertilizantes orgânicos produzidos pela atividade avícola na produção da cana-de-açúcar pode ser uma alternativa

promissora no suprimento de P, diminuindo a utilização de fosfatos minerais e elevando a sustentabilidade ambiental.

Diante disso, a hipótese do presente trabalho é que a utilização da cama de frango, como fonte de fósforo, poderia ser tão eficiente quanto a aplicação de superfosfato triplo na produção, qualidade industrial e nutricional da cana-de-açúcar.

O objetivo deste trabalho foi avaliar diferentes doses de superfosfato triplo e cama de frango na produção, qualidade industrial e nutricional da cana-de-açúcar de primeiro corte.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Local do estudo

O estudo foi conduzido em área experimental da Destilaria Nova União S/A, na Fazenda São Pedro, BR-060, Km 274, Zona rural, localizado no município de Jandaia, Região Sudoeste do Estado de Goiás, com coordenadas geográficas de 17°15'52,6" S e 50°08'23,2" W, a 519 m de altitude. A região apresenta clima tropical Aw (Alvares *et al.*, 2013), com estação chuvosa de outubro a março e estação de seca de abril a setembro. As temperaturas médias anuais da região variam de 22 a 35°C, com precipitações pluviais médias anuais variam de 900 a 1.400 mm e relevo de topografia plana.

A precipitação pluvial (mm), a temperatura do ar (°C) e a umidade média do ar (%) registradas nos meses de cultivo da cana-de-açúcar no cultivo foram as seguintes de: 1.332,60 mm, 24,35°C e 69,45%, respectivamente. Os dados foram coletados por uma estação meteorológica instalada na área experimental (Figura 1).

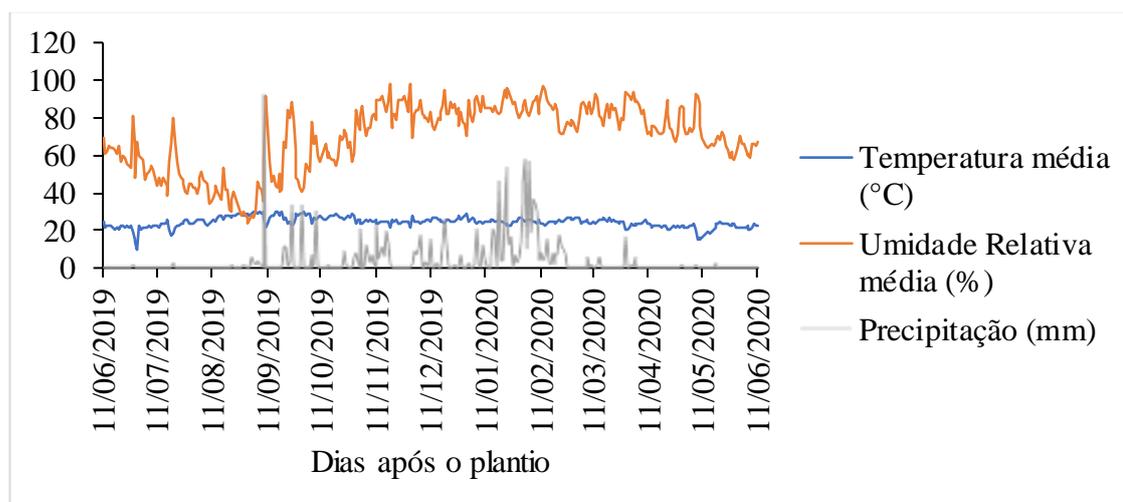


Figura 1. Precipitação mensal e temperatura para cada safra. As lacunas nos resultados de precipitação significam zero.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho eutrófico típico, fase cerrado (Santos *et al.*, 2018). Amostras de solos foram obtidas nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, cuja características químicas estão na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas do solo da área experimental, nas camadas de 0,0–0,20 m e 0,20-0,40 m de profundidade, antes da implantação do experimento na Destilaria Nova União, zona rural do município de Jandaia – GO, Brasil.

Atributos	Profundidade (m)	
	0,0 – 0,20	0,2 – 0,40
pH água (1:2,5)	5,85	5,95
P (mg dm ⁻³)	1,60	1,60
K (mg dm ⁻³)	68,17	62,00
S (mg dm ⁻³)	2,67	2,63
B (mg dm ⁻³)	0,51	0,52
Cu (mg dm ⁻³)	3,60	3,10
Fe (mg dm ⁻³)	12,64	10,52
Zn (mg dm ⁻³)	0,81	0,40
Mn (mg dm ⁻³)	5,95	4,72
Ca (cmolc.dm ⁻³)	4,14	4,28
Mg (cmolc.dm ⁻³)	0,87	0,92
Al (cmolc.dm ⁻³)	0,00	0,00
H+Al (cmolc.dm ⁻³)	2,32	2,17
Ca+Mg (cmolc.dm ⁻³)	5,01	5,20
⁽¹⁾ SB (cmolc.dm ⁻³)	5,18	5,36
⁽²⁾ CTC (cmolc.dm ⁻³)	7,50	7,52
⁽³⁾ M.O. (%)	27,10	25,70
⁽⁴⁾ COT (%)	15,72	13,97
⁽⁵⁾ V (%)	68,23	69,77
⁽⁶⁾ Argila (g kg ⁻¹)	44,23	44,26
⁽⁷⁾ Ca / Mg (cmolc.dm ⁻³)	4,69	4,51
⁽⁷⁾ Ca / K (cmolc.dm ⁻³)	24,58	26,39
⁽⁷⁾ Mg / K (cmolc.dm ⁻³)	5,09	5,82
⁽⁷⁾ Ca / CTC T (%)	53,95	54,96
⁽⁷⁾ Mg / CTC T (%)	11,89	12,64
⁽⁷⁾ K / CTC T (%)	2,38	2,17
⁽⁷⁾ H+Al / CTC T (%)	31,77	30,23

pH: potencial hidrogeniônico; P (fósforo), K (potássio); S (Enxofre); B (Boro); Cu (Cobre); Fe (Ferro); Zn (Zinco); Mn (manganês); Ca (Cálcio); Mg (Magnésio); Al (alumínio); ¹ Soma de bases; ² Capacidade de troca catiônica; ³ Matéria Orgânica; ⁴ Carbono orgânico total; ⁵ Porcentagem de saturação por bases; ⁽⁶⁾ Textura; ⁽⁷⁾ Relação entre bases.

Após a caracterização química e física do solo, a área foi preparada com subsolagem, aração e gradagem a 0,40 m de profundidade.

3.2.2 Delineamento experimental e material utilizado

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial de 5 x 5, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram na aplicação de duas fontes de adubos fosfatado: adubo mineral superfosfato triplo (SFT), e adubo orgânico - cama de frango (CF).

Os tratamentos foram compostos por cinco doses de cama de frango: 0; 2; 4; 6 e 8 t ha⁻¹ equivalente, respectivamente, a 32,70; 65,40; 98,10 e 130,80 kg ha⁻¹ de P₂O₅, e cinco doses de superfosfato triplo: 0 (controle); 60; 120; 180 e 240 kg ha⁻¹, equivalentes, respectivamente, a 27,60; 55,20; 82,80 e 110,40 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aplicados na safra (2019/2020). As doses foram baseadas de acordo com as práticas utilizada no campo pela Destilaria Nova União. Os adubos foram aplicados de forma manual e incorporados ao solo, com auxílio de uma pá, no sulco de plantio da cana-de-açúcar.

A cama de frango utilizada foi proveniente de granjas de frango da região. Na caracterização orgânica e mineral da cama de frango obteve-se: 25,40 mg dm⁻³ de N; 7,40 mg dm⁻³ de P; 7,40 mg dm⁻³ de K; 0,19 cmol_c.dm⁻³ de Ca; 0,04 cmol_c.dm⁻³ de Mg; 15,20 mg dm⁻³ de S; 0,3 mg dm⁻³ de B; 2,80 mg dm⁻³ de Zn; 25,00 mg dm⁻³ de Fe; 5,20 mg dm⁻³ de Mn; 3,40 mg dm⁻³ de Cu; 326,90 g dm⁻³ de Material Mineral; 673,20 g dm⁻³ de Material Orgânico; 413,00 g dm⁻³ de Carbono Orgânico e 17,36% umidade a 105 °C. Já o fósforo mineral utilizado foi superfosfato triplo, fornecido por meio de grânulos (tamanho de 2 a 4 mm), compostos por 46% de P₂O₅ e 10% de Ca.

Cada parcela experimental foi constituída por 10 linhas de 10 metros de comprimento com espaçamento de 1,5 m entrelinhas. Foi feita adubação nitrogenada e potássica. Para a adubação nitrogenada, 30% foram feitas no plantio e 70% em cobertura, após a emergência do primeiro perfilho da cana-de-açúcar. Já a adubação potássica foi feita juntamente com a aplicação dos tratamentos.

A fonte nitrogenada utilizada foi a ureia na dose de 100 kg ha⁻¹ e para adubação potássica foi utilizada o cloreto de potássio (KCl) na dose de 80 kg ha⁻¹ de K₂O (Raji, 1997). O plantio da cana-de-açúcar foi realizado no dia 11 de junho de 2019.

Para o plantio, foram utilizadas 12 gemas viáveis de cana-de-açúcar por metro linear do genótipo IACSP95-5094, em sulcos de 0,25 m de profundidade. A irrigação foi por autopropelido modelo TURBOMAQ 50, com a aplicação de uma única lâmina de 60 mm, após a emergência das plantas.

3.2.3 Análises biométricas, nutricionais, industriais e produtividade

Para testar o efeito dos tratamentos, foram avaliadas a altura das plantas, número de perfilhos, diâmetro de colmo, concentração foliar de macro e micronutrientes, os açúcares totais recuperáveis (ATR), e a produtividade em toneladas de colmo por hectare (TCH) e calculados o rendimento de açúcar e de álcool.

A altura das plantas foi medida desde a superfície do solo até a última região auricular visível da folha +1, utilizando uma fita métrica graduada em centímetros. O número de perfilhos foi contado no dia anterior ao corte da parcela. O diâmetro médio do colmo foi avaliado com paquímetro digital graduado em milímetros, nas porções basal, intermediária e apical da cana-de-açúcar.

As plantas de cana-de-açúcar foram amostradas aos 150 dias após o plantio, para a realização de análise da concentração de macro e micronutrientes foliar. As amostras foram construídas utilizando os 20 cm da porção central de 15 folhas +3 coletadas de forma aleatórias das plantas centrais de cada parcela.

As análises laboratoriais foram feitas de acordo com o manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes proposto por Silva (2009), sendo determinados os teores dos macro e micronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn).

Cinco dias antes da colheita foram coletados 10 colmos de cada parcela experimental. Os colmos foram cortados ao nível do solo manualmente e posteriormente feitos feixes desses 10 colmos, que foram enviados ao laboratório de análises tecnológicas da Destilaria Nova União para avaliação do ATR, o rendimento de açúcar e de álcool.

Para determinar os açúcares totais recuperáveis (ATR), foram utilizadas duas equações. A primeira equação utilizada foi para determinar os açúcares redutores de cana (ARC), que foi calculado pela: $ARC = (3,6410 - 0,0343 \times Q) \times (1 - 0,01 \times F) \times (1,0313 - 0,00575 \times F)$, em que Q é a pureza aparente do caldo, expressa em porcentagem e F é a porcentagem de fibra em %. Posteriormente, a segunda equação utilizada foi: $ATR = (10 \times POL \times 1,05263 \times 0,915) + (10 \times ARC \times 0,915)$, sendo: 1,05263 é o coeficiente estequiométrico de conversão da sacarose em açúcar redutor; 0,915 é o coeficiente de recuperação da perda industrial de 8,5% e $10 \times ARC$ são os açúcares redutores por tonelada de cana.

Os rendimentos de açúcar e de álcool de cada safra, foram calculados utilizando o valor de quantidade de açúcar bruto determinado na análise tecnológica de acordo com metodologia descrita por Caldas (1998), conforme equação 1 e 2:

$$\text{RAR} = (\text{PCC} * \text{PC} / 100) \quad (1)$$

em que: RAR - rendimento de açúcar (kg ha^{-1}); PCC - quantidade de açúcar bruto (%) contido nos colmos e determinada em laboratório; PC - produção de colmos (t ha^{-1}).

$$\text{RA} = ((\text{PCC} * \text{F}) + \text{ARL}) * \text{Fg} * 10 * \text{PC} \quad (2)$$

em que: RA - rendimento de álcool (L t^{-1}); PCC - quantidade de açúcar bruto (%) contido nos colmos e determinada em laboratório; F - fator de transformação estequiométrica de sacarose em uma molécula de glicose mais uma de frutose, igual a 1,052; ARL - são os açúcares redutores livres (%), cujos valores variam de 0,7 a 0,85%, sendo que a destilaria utiliza 0,7 para PCC alto; Fg - fator de Gay Lussac igual a 0,6475; PC - produção de colmos (t ha^{-1}).

A produtividade de colmos em toneladas de colmo por hectare (TCH) foi calculada com base na produção da área útil de cada parcela experimental. As plantas foram colhidas com o auxílio de colhedora John Deere, modelo 3520, de uma linha no espaçamento de 1,5 m e transportadas em caminhão transbordo com dispositivo de célula de carga acoplado de uma balança digital. O peso foi calculado em kg, com posterior conversão para toneladas por hectare (t ha^{-1}).

3.2.4 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) a 5% de probabilidade e, no caso de significância dos resíduos das doses de SFT e CF, foi feita análise de regressão utilizando o software estatístico SISVAR (Ferreira, 2011).

3.3 Resultados

A aplicação das doses de SFT e CF não influenciou a altura das plantas (AP), diâmetro médio de colmo (DC) e o numérico de perfilhos (NP) da cana-de-açúcar (Tabela 2). Também não foi verificado efeito na interação das doses de SFT e CF.

Tabela 2. Resumo da análise de variância para altura de plantas (AP), diâmetro médio de colmo (DC), número de perfilhos (NP), teores foliar de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), açúcares totais recuperáveis (ATR), rendimento de açúcar (RAR), rendimento de álcool (RA) e toneladas de colmo por hectare (TCH) na cana-de-açúcar.

Variáveis	QM					
	Fonte de variação					
	SFT	CF	Int. SFT x CF	Bloco	Erro	CV (%)
GL	4	4	16	3	72	-
AP	306,94 ^{ns}	74,66 ^{ns}	162,05 ^{ns}	68,69 ^{ns}	167,82	4,37
DC	1,80 ^{ns}	2,01 ^{ns}	1,15 ^{ns}	38,21 ^{**}	1,54	4,78
NP	2,94 ^{ns}	6,25 ^{ns}	4,44 ^{ns}	6,53 ^{ns}	4,31	16,41
N	4,26 [*]	3,43 [*]	1,38 ^{ns}	0,86 ^{ns}	1,22	6,14
P	0,51 ^{**}	0,16 ^{**}	0,04 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02	5,26
K	3,76 ^{**}	6,17 ^{**}	1,23 ^{**}	1,01 ^{ns}	0,39	4,54
Ca	0,17 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,45 ^{**}	0,11	9,01
Mg	0,02 [*]	0,02 [*]	0,01 [*]	0,00 ^{ns}	0,01	7,09
S	0,16 [*]	0,07 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,23 ^{**}	0,06	11,74
B	14,29 ^{**}	1,17 ^{ns}	1,20 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,8	8,68
Cu	1,32 ^{**}	0,34 [*]	0,19 [*]	0,00 ^{ns}	0,11	4,79
Fe	1591,23 ^{ns}	2726,01 ^{ns}	2332,64 ^{ns}	2700,10 ^{ns}	1575,25	39,69
Mn	30,35 ^{ns}	820,85 [*]	189,93 ^{ns}	3201,08 ^{**}	252,01	19,48
Zn	125,45 ^{ns}	265,20 ^{ns}	193,13 ^{ns}	154,92 ^{ns}	207,35	79,67
ATR	27,12 ^{ns}	23,86 ^{ns}	17,52 ^{ns}	3,70 ^{ns}	18,29	2,85
RAR	4,66 ^{ns}	2,23 ^{ns}	1,51 ^{ns}	18,33 ^{**}	2,47	7,02
RA	2,18 ^{ns}	1,09 ^{ns}	0,71 ^{ns}	9,05 ^{**}	1,19	6,93
TCH	31,29 ^{ns}	78,51 ^{ns}	91,41 ^{ns}	533,39 ^{**}	105,41	6,93

QM: Quadrado médio; SFT: Superfosfato triplo; CF: Cama de frango; Int.: Interação; GL: Grau de liberdade; CV: Coeficiente de variação; ** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

A altura de plantas, o diâmetro de colmo e o número de perfilhos em função das doses de SFT e CF proporcionaram médias de 296,60 cm; 25,97 mm e 12,66, respectivamente.

A análise de variância mostrou efeito significativo dos fatores doses de superfosfato triplo (SFT) e cama de frango (CF) nas concentrações de N, P, K, Mg e Cu na planta de cana-de-açúcar (Tabela 2). Já os teores de S e B foram influenciados significativamente apenas pelo SFT, enquanto Mn, apenas pelo uso de cama de frango, o Ca, o Fe e o Zn não foram influenciados pelas fontes mineral e orgânica de P.

O teor de N foliar da cana-de-açúcar sob a aplicação das doses de superfosfato triplo (SFT) adequou-se ao modelo quadrático, com o R² de 86,03% (Figura 2A). O maior

teor de N foliar foi de 18,43 g kg⁻¹ para a dose de 111,92 kg ha⁻¹ de SFT, a menor foi de 17,57 g kg⁻¹ para a dose 0 kg ha⁻¹ de SFT apresentando variação de 4,69%. Também, verificou efeito das doses de cama de frango (CF), sobre o teor de nitrogênio foliar (Figura 2B). Os dados de teor de N foliar ajustaram ao modelo quadrático com R² de 62,19%. O menor teor de N foliar para as doses de CF foi de 17,55 g kg⁻¹, enquanto a maior foi de 18,24 g kg⁻¹ observado na dose estimada de 6,39 t ha⁻¹.

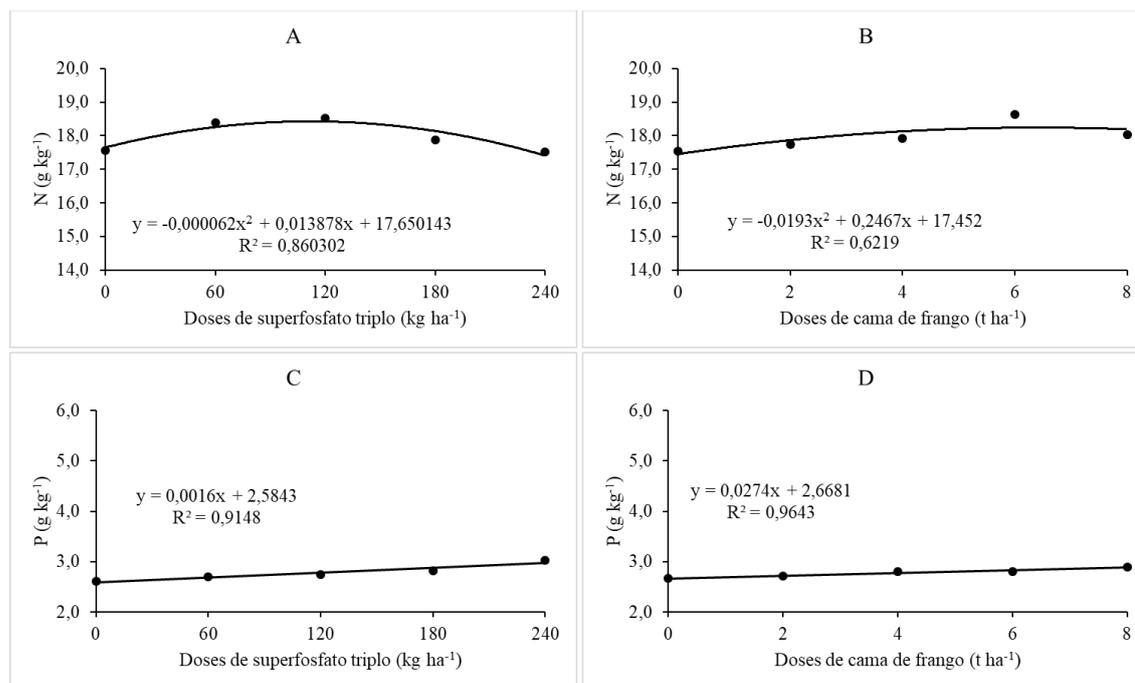


Figura 2. Teor foliar de nitrogênio (N) na cana-de-açúcar em função das doses de superfosfato triplo (A), teor foliar de nitrogênio na cana-de-açúcar em função das doses de cama de frango (B), teor de fósforo (P) na cana-de-açúcar em função das doses de superfosfato triplo (C) e teor foliar de fósforo na cana-de-açúcar em função das doses de cama de frango na cana-de-açúcar (D).

Também, verificou-se efeito das doses de SFT e CF sobre o teor de P foliar de cana-de-açúcar (Figura 2C e 2D), cujos maiores teores desse nutriente para as doses de SFT e CF foram observados nas doses de 240 kg ha⁻¹ de SFT e de 8 t ha⁻¹ de CF, obtendo 3,03 e 2,90 g kg⁻¹, respectivamente. A concentração de P foliar ajustou ao modelo linear em resposta às doses de SFT e de CF, com o R² de 91,48 e 96,43%, respectivamente, ou seja, apenas 8,52 e 3,57% das variações da concentração de P foliar não são explicadas pelas variações das doses de SFT e CF.

O teor foliar de K foi influenciado pelas doses de SFT e de CF e pela interação entre as doses de SFT x CF (Tabela 2A). Entretanto, neste estudo será discutido a interação SFT x CF. Na análise de desdobramento das doses de SFT nas doses de CF

(Figura 3), o teor de K das plantas de cana-de-açúcar foi significativo para as doses de CF de 0, 2, 6 e 8 t ha⁻¹, conforme demonstrado, respectivamente nas Figuras 3A.

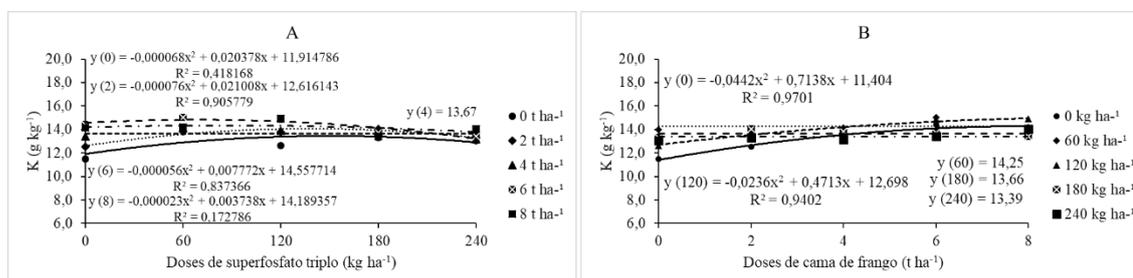


Figura 3. Teor foliar de potássio (K) na cana-de-açúcar sob desdobramento das doses de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango (A) e desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo (B).

Os resultados obtidos adequaram-se ao modelo quadrático de distribuição, com R² de 41,81; 90,57; 83,73 e 17,27%, respectivamente (Figura 3A). Conforme as equações matemáticas apresentada, as doses estimadas de SFT foram de 149,84; 138,21; 69,39 e 81,26 kg ha⁻¹, respectivamente, para as doses de 0, 2, 6 e 8 t ha⁻¹ de CF; já o teor foliar de K foi de 13,44; 13,37; 14,83 e 14,34 g kg⁻¹. As doses de SFT em dose 4 t ha⁻¹ de CF não foram significativas, apresentando valor médio de 13,67 mg dm⁻³ (Figura 3A).

Para os teores de K, a análise do desdobramento de dose de CF em cada dose de SFT mostrou que houve interação das doses de CF nas doses 0 e 120 kg ha⁻¹ de SFT (Figura 3B). Para essas doses, as equações adequaram-se ao modelo quadrático, com R² de 97,01 e 94,02%, respectivamente, com a concentração foliar estimada de K de 14,29 e 15,05 g kg⁻¹ para as doses estimadas de 8,07 e 9,99 t ha⁻¹ de CF.

Os teores de K nas doses de CF em doses de 60, 180 e 240 kg ha⁻¹ de SFT (Figura 3B) não foram significativos, cujos teores médios de K foliar foram de 14,25; 13,66 e 13,39 g kg⁻¹.

A aplicação de diferentes doses de SFT e de CF não afetou o teor foliar de cálcio (Ca). As doses aplicadas de SFT e de CF nos tratamentos proporcionaram teor médio 3,63 g kg⁻¹.

O teor de Mg foliar foi afetado individualmente pelas doses de SFT e CF e pela interação entre as doses SFT x CFN (Tabela 2). Contudo, no desdobramento das doses de SFT em cada dose de CF e desdobramento de doses de CF em cada dose de SFT (Figura 4), as doses de 0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹ de CF (Figura 4A) e as doses de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ (Figura 4B) não apresentaram significância.

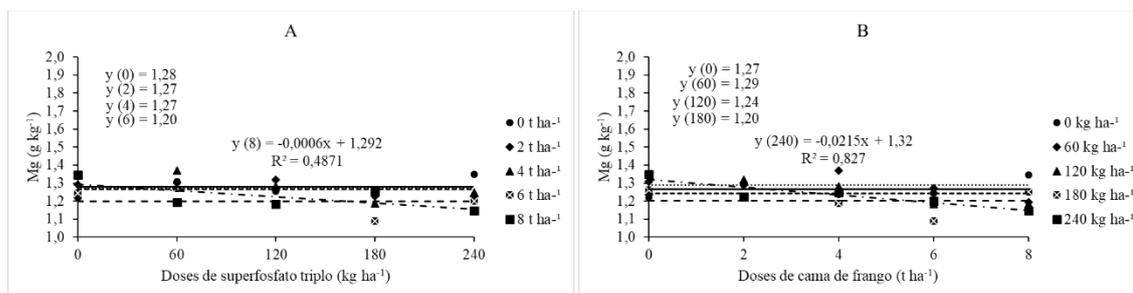


Figura 4. Teor foliar de magnésio (Mg) sob desdobramento das doses de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango (A) e desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo (B) na cana-de-açúcar.

Entretanto, apenas os teores de Mg nas doses de SFT na dose de 8 t ha⁻¹ de CF e as doses de CF em dose de 240 kg⁻¹ de SFT foram significativos (Figura 4A e 4B). Os teores de Mg nas doses de SFT em dose de 8 t ha⁻¹ de CF, ajustaram-se ao modelo matemático linear decrescente, com R^2 de 48,71%, ou seja, 51,29% das variações do teor foliar de Mg não são explicadas pelas variações das doses de SFT (Figura 4A). Nesta dose, o maior teor de Mg foi de 1,25 g kg⁻¹ obtido com a dose de 0 t ha⁻¹ de SFT. Na ausência de CF, a dose 240 kg ha⁻¹ de SFT, ajustou-se ao modelo linear decrescente, apresentou maior teor de Mg foliar de 1,35 g kg⁻¹ (Figura 4B).

O teor de S foliar foi afetado pela aplicação das doses de SFT, sendo verificado comportamento quadrático para os dados (R^2 84,46%), com as maiores concentrações de S foliar verificadas nas plantas adubadas com a dose de SFT estimada de 169,29 kg ha⁻¹ (2,07 g kg⁻¹) (Figura 5A).

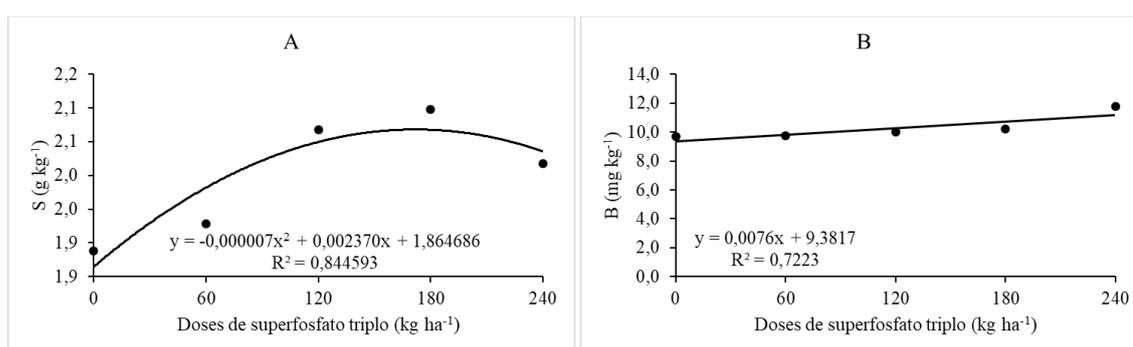


Figura 5. Teor foliar de enxofre (S) (A) e boro (B) (B) da cana-de-açúcar em função das doses de superfosfato triplo.

O B foliar foi afetado pelas doses de SFT, apresentando comportamento linear para os dados, com as maiores concentrações de B foliar nos tratamentos que receberam

a dose de 240 kg ha⁻¹ (11,76 mg kg⁻¹) com 17,50% de acréscimo quando comparado aos tratamentos que não receberam dose de SFT (Figura 5A).

O teor de Cu foliar foi afetado pelas doses de SFT e CF, assim como pela interação entre as doses SFT x CF (Tabela 2A). No desdobramento das doses de SFT nas doses 2, 4 e 6 t ha⁻¹ de CF apresentou significância (Figura 5A).

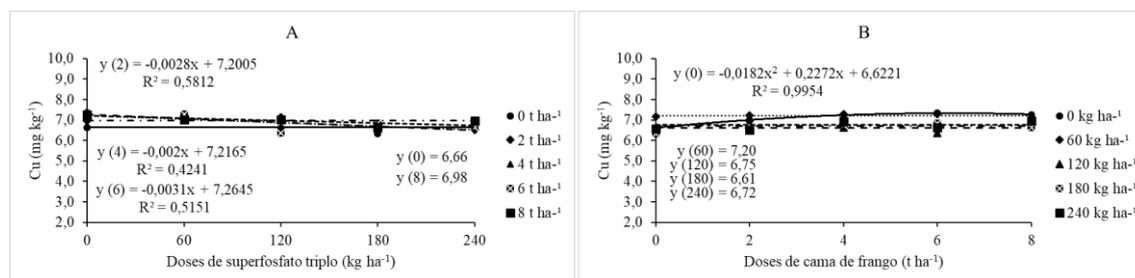


Figura 6. Teor foliar de cobre (Cu) sob desdobramento das doses de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango (A) e desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo (B) na cana-de-açúcar.

Os valores do teor de Cu foliar nas doses de SFT nas doses 2, 4 e 6 t ha⁻¹ de CF ajustaram-se ao modelo matemático linear decrescente, cujos resultados apresentaram coeficiente de determinação baixo ($R^2 = 58,12; 42,41$ e $51,51\%$) (Figura 5A). Nestas doses de CF, as doses de SFT que apresentaram maior teor foliar de Cu foram as de 60 kg ha⁻¹ de SFT (7,23; 7,30 e 7,27 mg kg⁻¹). As doses de SFT nas doses 0 e 8 t ha⁻¹ de CF não apresentaram significância.

As doses de CF dentro do tratamento com 0 kg ha⁻¹ de SFT apresentaram efeito significativo (Figura 6B). Os valores do teor de Cu foliar encontrado nas doses de CF na dose 0 kg ha⁻¹ de SFT, ajustaram-se ao modelo quadrático, estimando na dose de 6,24 t ha⁻¹ de CF, com teor foliar de Cu de 7,33 mg kg⁻¹. Os resultados de teor de ferro nas doses de CF em doses de 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹ de SFT não foram significativos.

As diferentes doses de SFT e de CF não proporcionaram significância para o teor foliar ferro (Fe) (Tabela 2). As doses aplicadas de SFT e de CF proporcionaram concentração foliar média de Fe de 100,00 mg kg⁻¹ (Tabela 3).

Os teores de Mn na cana-de-açúcar foram influenciados significativamente pelas doses de CF (Figura 7), cujos dados dos teores de Mn ajustaram ao modelo matemático linear. A maior média ocorreu nos tratamentos que receberam as doses de 8 t ha⁻¹, e atingiu a concentração máxima de 87,41 mg kg⁻¹.

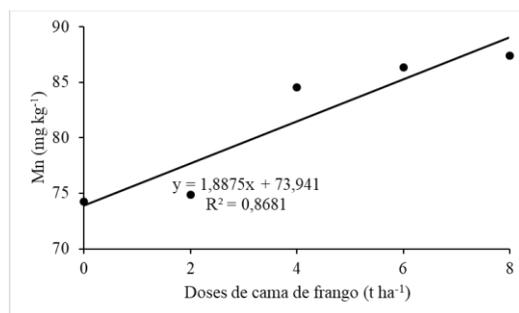


Figura 7. Teor foliar de manganês (Mn) da cana-de-açúcar em função das doses de cama de frango.

Os teores de Zn, o ATR, RAR, AR e o TCH não foram influenciados significativamente pelas diferentes doses de CF e SFT. Também, nenhuma variável foi influenciada significativamente pela interação das doses do adubo de fonte orgânica x mineral (Tabela 2). As médias observadas nas doses de CF e SFT para Zn, ATR, RAR, RA e TCH foram: 18,07 mg kg⁻¹; 149,99 kg t ha⁻¹; 22,41 t ha⁻¹; 15,77 m³ ha⁻¹ e 148,18 t ha⁻¹.

3.4 Discussão

3.4.1 A aplicação de diferentes doses de SFT e CF aumentam o teor foliar N, P, K, Mg e S foliar da cana-de-açúcar de primeiro corte

A adubação com SFT e CF influenciou no acúmulo de N nas folhas no ciclo de cana-planta. Entretanto, a melhor dose para aumentar o teor de N foliar 111,92 kg ha⁻¹ de SFT, proporcionando aumento de 1,03%, quando comparado ao teor de N observado na dose de 6,39 t ha⁻¹ de CF (18,24 g kg⁻¹ de N). Isso ocorreu porque as plantas foram estimadas de forma eficiente ao utilizar o N disponível de forma mineral, fornecido na adubação de correção.

O nitrato de amônio quando aplicado no solo dissolve-se em água e libera íons de amônio (NH₄⁺) e nitrato (NO₃⁻), que são absorvidos pelas raízes das plantas. Ocorrendo pelo processo de nitrosação que consiste na oxidação da amônia (NH₃) a nitrito (NO₂⁻) feita pelas bactérias do gênero Nitrosomonas e Nitrosococcus, e as Nitrobacter que realizam a oxidação do nitrito (NO₂⁻) a nitrato (NO₃⁻), em um processo conhecido como nitrobacterização (Costa *et al.*, 2003; Gee *et al.*, 1990; Reynolds *et al.*, 1987).

Entretanto, a CF é rica N, quando aplicada ao solo passa pelo processo de mineralização, fazendo com que a liberação do nutriente seja de forma gradual (Tauqeer *et al.*, 2022; Uddin *et al.*, 2022; Guimarães *et al.*, 2016). A mineralização da cama de

frango ocorre pela decomposição microbiana do solo, fazendo com que os macros e micronutrientes sejam liberados em formas inorgânicas de íons minerais estando disponível gradativamente para as plantas (Li *et al.*, 2019; Guimarães *et al.*, 2016).

A adubação com SFT e CF também influenciou na concentração de P foliar de cana-de-açúcar. Com a aplicação da dose de 240 kg ha⁻¹ de SFT, obteve-se maiores P foliar 3,03 g kg⁻¹. O SFT é uma fonte altamente solúvel, que garante a liberação do P em curto prazo para as plantas (Moraes *et al.*, 2017; Chien *et al.*, 2009).

Santos *et al.* (2009) em estudos sobre aplicação de fontes de fósforo na cana de primeiro corte, encontraram maior concentração de P foliar na dose de 266,67 kg ha⁻¹ de SFT, obtendo valores de P foliar próximos a 4,00 g kg⁻¹. Os mesmos autores relatam que as fontes de adubo fosfatada e a redução das doses não influenciaram na produtividade da cana-planta.

No entanto, mediante à aplicação de fertilizantes fosfatados, a capacidade tampão do solo diminui, o fósforo é retido pelas partículas coloidais do solo e por íons metálicos, resultando na formação gradual de fosfato não disponível. Esse fosfato torna-se desafiador para as culturas absorverem e utilizarem, pela baixa mobilidade do fósforo no solo, tendo impacto direto no rendimento da cultura (Smith *et al.*, 2003; Cheng *et al.*, 2011; Rashad *et al.*, 2021; Ji *et al.*, 2021).

Guimarães *et al.* (2016) afirmam que os fertilizantes orgânicos necessitam ser mineralizados, fazendo com que a disponibilidade inicial para as plantas seja reduzida. Portanto, na utilização da CF, em safras subsequentes, favorece na ciclagem de nutrientes e melhorar a absorção de P pela cana-de-açúcar. A CF tende a contribuir para o aumento nutricional a longo prazo, por apresentar maior efeito residual.

Houve maior teor de foliar K interação das doses de CF e SFT. Contudo, a melhor dose CF estimada foi de 9,99 t ha⁻¹ de CF com 120 kg ha⁻¹ de SFT, resultando em teor de K de 15,05 g kg⁻¹. A aplicação conjunta do SFT e CF resultou em ganho percentual de 19,16% em relação à testemunha. A presença da CF no solo estimula a atividade microbiana, promovendo processos de decomposição e ciclagem de nutrientes. Isso pode aumentar a disponibilidade do potássio, reduzindo a lixiviação do nutriente no solo.

O K está ligado ao metabolismo das plantas, incluindo a fotossíntese, a síntese de proteínas e a regulação do balanço hídrico. A síntese de proteína é processo pelo qual os aminoácidos são unidos para formar proteínas. O nitrato (NO₃⁻), forma de N facilmente assimilável pelas plantas, é uma das principais formas de nitrogênio absorvidas pelas raízes que participam diretamente da síntese proteica. Para isso, ele é reduzido

primeiramente para amina e depois incorporado como aminoácido para formar as proteínas.

No entanto, a mobilidade da planta depende do potássio, que é responsável por transportá-lo até as folhas e frutos, transformando-o em proteínas. O potássio é um macronutriente altamente móvel nas plantas, não forma compostos orgânicos e possui carga iônica (K^+) oposta ao nitrato, facilitando a interação entre os dois elementos. A escassez de potássio limita o transporte eficiente de nitratos e impede a síntese adequada de proteínas, resultando no acúmulo de nitrato-N e amino-N solúveis (IPI, 2013).

O teor foliar de Mg, embora em pequena magnitude, aumentou significante após aplicação da dose 0 t ha⁻¹ de CF dentro da dose 240 kg ha⁻¹ SFT e 0 kg de SFT dentro da dose 8 t ha⁻¹ de CF (Figura 4J e 4E). O teor foliar de Mg variou de 1,15 para 1,35 g kg⁻¹ e está na faixa de teor considerada adequada para cana-de-açúcar de 1,0 a 3,0 g kg⁻¹ segundo Raji *et al.* (1996). Portanto, na utilização da dose 240 kg ha⁻¹ SFT não afetou a disponibilidade e a eficiência do P, pois a análise foliar não indicou a deficiência.

Nota-se nas figuras 4J e 4E que as aplicações elevadas do SFT e CF causaram implicações diretas no teor de Mg foliar. O uso elevado de fertilizantes fosfatados pode aumentar a competição por cátions no solo, incluindo o magnésio. Ocorrendo porque os íons fosfato (PO_4^{2-}) liberados pelo fertilizante podem competir com os íons magnésio (Mg^{2+}) pelos sítios de troca catiônica no solo, resultando em potencial redução da disponibilidade de magnésio para as plantas (Novais *et al.*, 2007).

O magnésio é um macronutriente bastante móvel planta. O nutriente está relacionado com a fotossíntese e a atividade enzimática das plantas (Taiz *et al.*, 2017). Esse elemento está ligado a um dos principais pigmentos fotossintéticos responsáveis pela captação da luz solar: a clorofila. Além disso, o Mg é capaz de contribuir para a assimilação de carbono em plantas C4 (Sathyanarayan *et al.*, 2022; Taiz *et al.*, 2017; Fageria *et al.*, 2008; Baligar *et al.*, 2007; Fageria, 2006). Isso por causa da capacidade do magnésio de ser ativador da enzima PEP-carboxilase.

A ativação enzimática causada pelo magnésio estende-se à nutrição de plantas. Tanto a PEP-carboxilase quanto a Glutamina Sintetase (GS) são enzimas ativadas pelo Mg, contribuindo para o processo de absorção vegetal do N e do P (Fageria, 2006).

No estudo sobre acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar de Oliveira *et al.* (2011), os autores relatam que maior concentração de Mg foliar ocorreu em genótipos que produziram grande quantidade de ATR, encontrando concentrações de

10,90 e 9,65 g kg⁻¹. Essa situação pode ser compreendida pela contribuição do magnésio na assimilação do carbono e no transporte de fotoassimilados.

Devido à mobilidade na planta, o magnésio é empregado para transportar os diferentes compostos gerados pelas regiões fotossinteticamente ativas das plantas, podendo abranger aqueles associados à ATR da cana-de-açúcar. Isso explica a não variação do ATR entre as doses de SFT e CF estudadas.

Ao utilizar o SFT, a concentração de S foliar aumentou até a aplicação máxima de 169,29 kg ha⁻¹ do adubo. O uso do SFT otimizou a utilização do S no solo para a cana-de-açúcar. O SFT é uma fonte altamente solúvel. Com isso, a presença do SFT no solo tende a aumentar a eficiência da associação com o S. O P tem interação positiva com S na produção das culturas, tanto no metabolismo vegetal como a adubação fosfatada na adsorção do SO₄²⁻ no solo, demonstrando a existência de um equilíbrio dinâmico entre os ânions (Novais *et al.*, 2007; Fageria, 2006).

3.4.2 SFT e CF aumentam o teor foliar de B, Cu e Mn das plantas de cana-de-açúcar de primeiro corte

O presente estudo revelou respostas significativas da cana de primeiro corte à fertilização com SFT para Boro (B), não obtendo diferença na produtividade de colmos e no rendimento de açúcar e de álcool.

A resposta linear do B à variação nas doses de SFT, aplicadas na cana-planta, é indicativo que o B extraído pela planta foi do solo e pode ser atribuída à influência direta do SFT no desenvolvimento vegetativo. Santos *et al.* (2021) e Novais *et al.* (2007) relatam que a maior disponibilidade do B para as plantas ocorre com pH de 5,0 a 7,0, sendo que a presença de matéria orgânica favorece a disponibilidade do nutriente, corroborando com os valores encontrados neste estudo (Tabela 1).

O B é um micronutriente aniônico, transportado na planta principalmente pelo fluxo de massa. O B desempenha papel crucial na formação e estabilidade da parede celular, incorporando o cálcio na parede celular, atua na divisão celular, transporte de açúcares, síntese de proteínas, regulação do metabolismo de carboidratos e crescimento e formação de raízes (Orlando Filho *et al.*, 2001; Perez *et al.*, 2010; Yamauchi, 1986).

O aumento da concentração de Cu foliar na cana-de-açúcar, conforme a equação de regressão, reforça a influência positiva de doses de CF até 6,24 t ha⁻¹. A aplicação do SFT, a CF disponibilizou para cana-planta maiores teores de Cu. A CF tem o potencial de atender parcial ou totalmente às necessidades nutricionais das plantas, oferecendo os

macro e micronutrientes vitais para as plantas (Silva e Guimarães, 2023; Chagas *et al.*, 2007; Resende, 2003).

O aumento linear no teor de Mn foliar sob as doses de CF, pode ser atribuída à influência direta dos nutrientes presente no composto orgânico no desenvolvimento vegetativo. A adubação orgânica é importante fonte de micronutrientes (Malavolta *et al.*, 2002). A CF oferece liberação gradual de macro e micronutrientes e melhora a estrutura do solo. A adição de matéria orgânica no solo aumenta a capacidade de retenção de água, promove melhor aeração e drenagem, minimiza a erosão, reduz a perda de nutrientes por lixiviação e aprimora a estrutura do solo (Brunerová *et al.*, 2020; Guimarães *et al.*, 2016; Andrade *et al.*, 2015).

O aumento no teor de Mn foliar pode indicar a estimulação da molécula de clorofila, o pigmento responsável pela absorção de luz durante a fotossíntese, que estimula a produção carboidratos, fundamentais para desenvolvimento e produção das plantas (Taiz *et al.*, 2017).

Segundo a Conab (2024), a produtividade, ATR e o rendimento média de açúcar e de álcool da cana-de-açúcar foi 134,60 kg t ha⁻¹; 85,58 t ha⁻¹; 5,50 t ha⁻¹ e 3,56 m³ ha⁻¹ no Brasil. Assim, a produtividade e rendimento médio de açúcar e de álcool encontradas no presente estudo ao utilizar doses de SFT e CF (149,99 kg t ha⁻¹; 148,18 t ha⁻¹; 22,41 t ha⁻¹ e 15,77 m³ ha⁻¹) foram superiores à média nacional.

Mesmo não apresentando significância para da produtividade e a qualidade industrial, a adubação fosfatada com a aplicação de doses de SFT e CF na cana-planta, mostrou papel fundamental na produção de cana-de-açúcar. As doses de SFT e CF contribuíram para o estabelecimento rápido da cultura, melhorando a absorção do N, P, K, Mg, B, Cu e Mg, contribuindo para a maturação dos colmos e produtividade equilibrada da cana-de-açúcar.

3.5 Conclusão

O uso do fósforo fornecido através da CF é tão eficiente quando a aplicação de SFT na produção e qualidade industrial da cana-de-açúcar. A cana-de-açúcar de primeiro corte respondeu favoravelmente à adubação com SFT, aumentando o teor foliar de N, P, K, Mg, Cu e Mn.

A dose CF 8 t ha⁻¹ elevou o teor nutricional de P. A interação da dose de 9,99 t ha⁻¹ de cama de frango com 120 kg ha⁻¹ de SFT pode ser feita para alcançar alto teor de K foliar.

Embora observado que doses elevadas de CF aumenta o teor nutricional da cana de primeiro corte, é necessário a compreensão de aplicações nas safras subsequentes, buscando manejo adequado e racional da adubação.

A CF apresentou como um recurso valioso no fornecimento de micronutrientes. Isso poderá beneficiar economicamente os agricultores na redução da dependência de fertilizantes químicos.

Este estudo demonstra que o uso da CF na fertilização da cana-de-açúcar pode representar uma alternativa sustentável a ser utilizada em solos do bioma Cerrado.

Por outro lado, este trabalho reforça que a adubação fosfatada é importante para a produtividade, qualidade nutricional e industrial da cana-de-açúcar, sendo que, os resultados tendem a ser elevados porque a cana-planta tem gasto energético elevado no estabelecimento da cultura.

3.6 Referências

- Abdala, D.B.; Moore, P.A.; Rodrigues, M.; Herrera, W.F.; Pavinato, P.S. Long-term effects of alum-treated litter, untreated litter and NH₄NO₃ application on phosphorus speciation, distribution and reactivity in soils using K-edge XANES and chemical fractionation *J. Environ. Manag.* **2018.** 213, 206-216. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.007>
- Ashworth, A.J, Chastain, J.P.; Moore, P.A. Características nutricionais do esterco e cama de aves. *Esterco Animal: Produção, Características, Preocupações Ambientais e Gestão, Volume. 67*, 63–87. <https://doi.org/10.2134/asapecpub67.c5>
- Aguiar, A. T. da E.; Gonçalves, C.; Paterniani, M. E. A. G.i Z.; Tucci, M. L. S.; de Castro, C. E. F. Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas. *Instituto Agrônomo.* **2014.** 452.
- Alovisi, A.M.T.; Cassol, C.J.; Nascimento, J.S.; Soares, N.B.; Silva Junior, I.R.d.; Silva, R.S.d.; Silva, J.A.M.d. Soil factors affecting phosphorus adsorption in soils of the Cerrado, Brazil. *Geoderma regional.* **2020.** 22, e00298. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00298>.
- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; de Moraes Gonçalves, J. L.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift.* **2013.** 22, 711-728. [10.1127/0941-2948/2013/0507](https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507)
- Andrade, C. A.; Bibar, M. P. S.; Coscione, A. R.; Pires, A. M. M.; Soares, A. G. Mineralização e efeitos de biocarvão de cama de frango sobre a capacidade de troca catiônica do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira.* **2015.** 50, 407-416.
- Baligar, V. C.; Fageria, N. K. e He, Z. L. Nutrient use efficiency in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis.* **2007.** 7–8, 921–950. <https://doi.org/10.1081/CSS-100104098>

- Baligar, V.C.; Bennett, O. L. NPK-fertilizer efficiency - a situation analysis for the tropics. *Fertilizer Research*. **1986**. 10, 147-164. <https://doi.org/10.1007/BF01074369>
- Borges, B. M. M. N.; Abdala, D. B.; de Souza, M. F.; Viglio, L. M.; Coelho, M. J. A.; Pavinato, P. S.; Franco, H. C. J. Organomineral phosphate fertilizer from sugarcane byproduct and its effects on soil phosphorus availability and sugarcane yield. *Geoderma*. **2019**. 339, 20-30. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.12.036v>
- Brunerová, A.; Müller, M.; Gürdil, G.A.K.; Šleger, V.; Brožek, M. Análise das propriedades físico-mecânicas de um fertilizante orgânico peletizado de cama de frango. *Res. Agr. Eng.* 2020. 66, 131-139. doi: <https://doi.org/10.17221/41/2020-RAE>.
- Caione, G.; De Mello Prado, R.; Campos, C. N. S.; Rosatto Moda, L.; Vasconcelos, R. de L.; Pizauro Júnior, J.M. Response of sugarcane in a Red Ultisol to phosphorus rates, phosphorus sources, and filter cake *Sci. World J.* **2015**. 2015, 14-16. <https://doi.org/10.1155/2015/405970>
- Caldas, C. Manual de análises selecionadas para indústrias sucroalcooleiras. *Sindicato da Indústria e do Alcool do Estado de Alagoas*. **1998**. 424.
- Chagas, C. D.; Faria, A.S.; Carvalho, G.S.; Silva, R.A.; Ramos, J. D. Uso de cama de frango como fertilizante orgânico na cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2007. 31, 685-695.
- Cheng, L. Y.; Bucciarelli, B.; Shen, J. B.; Allan, D.; Vance, C. P. Update on White Lupin Cluster Root Acclimation to Phosphorus Deficiency Update on Lupin Cluster Roots. *Plant Physiol*. **2011**. 156, 1025–1032. <https://doi.org/10.1104/pp.111.175174>
- Chien, S.H.; Prochnow, L.I.; Cantarella, H. Chapter 8 recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. *Advances in Agronomy*. **2009**. 102, 267-322. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(09\)01008-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(09)01008-6)
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar, v.4, Safra 2023/24—Nono Levantamento; CONAB: Brasília, Brasil, **2024**.
- Costa, M. C.G.; Vitti, G. C.; Cantarella, H. Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. **2003**. 4, 631–7. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000400007>
- Embrapa. Manejo da adubação fosfatada para cana-de-açúcar no cerrado. Circular técnica. **2015**. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1026343/1/CT29.pdf>
- Ebrahimi, E.; Mohammad, R. O. Dinâmica do fósforo no ambiente solo-água-sedimento. In: Anjum, N.A.; Masood, A.; Umar, S.; Khan, N.A. Fósforo em solos e plantas. Índia: IntechOpen, **2024**. 162 p. <https://doi.org/10.5772/intechopen.113225>.
- Fageria, N. K.; Baligar, V. C.; Li, Y. C. O papel das plantas com eficiência de nutrientes na melhoria do rendimento das colheitas no século XXI. *Jornal de Nutrição Vegetal*. **2008**. 6, 1121–1157. <https://doi.org/10.1080/01904160802116068>

- Fageria, V.D. Nutrient interactions in crop plants. *Journal of Plant Nutrition*. **2006**. 8, 1269–1290. <https://doi.org/10.1081/PLN-100106981>
- FAO. Efficiency of Soil and Fertilizer Phosphorus Use. **2008**. <https://soil5813.okstate.edu/Spring2012/Syers%202008.pdf>
- Ferreira, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciênc. Agrotec.* **2011**. 35, 1039-1042.
- Gee, C.S.; Pfeffer, J. T.; Suidan, M. T. Nitrosomonas e Nitrobacter Interações na Nitrificação Biológica. *J. Meio Ambiente*. **1990**. 116, 4–17. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9372\(1990\)116:1\(4\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9372(1990)116:1(4))
- Gomes, L.; Simões, S.J.C.; Dalla Nora, E.L.; de Sousa-Neto, E.R.; Forti, M.C.; Ometto, J.P.H.B. Agricultural Expansion in the Brazilian Cerrado: Increased Soil and Nutrient Losses and Decreased Agricultural Productivity. *Land*. **2019**. 8, 12. <https://doi.org/10.3390/land8010012>
- Guimarães, G.; Lana, R. de P.; Rei, R. de S.; Veloso, C. M.; Sousa, M. R. de M.; Rodrigues, R. C.; Campos, S. de A. Produção de cana-de-açúcar adubada com cama de frango. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*. **2016**. 17, 617–625. <https://doi.org/10.1590/S1519-99402016000400006>
- IPI - International Potash Institute. Potássio, o elemento da qualidade na produção agrícola. **2013**. p. 37. <https://doi.org/10.3235/978-3-905887-07-5>
- Ji, Q.-K.; Wang, D.; Yang, W.-B.; Han, Y.-R.; Mãe, W.-Q.; Wei, J. Effects of long-term phosphorus application on crop yield, phosphorus absorption, and soil phosphorus accumulation in maize-wheat rotation system. *J. Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*. **2021**. 32, 2469 -2476.
- Lambers, H.; Britto, C.P. d.; Oliveira, R.S.; Silveira, F.A.O. Towards more sustainable cropping systems: lessons from native Cerrado species. *Theor. Exp. Plant Physiol*. **2020**. 32, 175–194. <https://doi.org/10.1007/s40626-020-00180-z>
- Li, Z.; Tian, D.; Wang, B.; Wang, J.; Wang, S.; Chen, H.Y.; Xu, X.; Wang, C.; He, N.; Niu, S. Microbes drive global soil nitrogen mineralization and availability. *Glob. Chang. Biol*. **2019**. 25, 1078–1088. <https://doi.org/10.1111/gcb.14557>
- Moraes, E. R.; Mageste, J. G.; Lana, R. M. Q.; Da Silva, R.V.; Camargo, R. Cana-de-açúcar: Fertilizantes Organominerais e Bioestimulantes. In: Cana-de-Açúcar-Tecnologia e Pesquisa. *IntechOpen*. **2017**. 13, 90-101. <https://doi.org/ez1.periodicos.capes.gov.br/10.5772/intechopen.71493>
- Malavolta, E.; Pimentel-Gomes, F.; Alcarde, J. C. et al. Adubos e adubações. São Paulo, SP: Nobel, 2002. 200 p.
- Nascimento, C.O.; Molin, S.J.D.; Benites, V.d.M. Cabral-Albuquerque1, E.C.d.M.; Fialho, R. L. Characterization and investigation of chicken litter as a source of phosphorus for fertilizers. *Environmental Engineering and Management Journal*. **2021**. 8, 1309-1315. <https://doi.org/10.30638/eemj.2021.121>

- Novais, R. F.; Alvarez V., V. H.; Barros, N. F.de; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Lima, J. C. Fertilidade do Solo. *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*. **2007**. p. 1017.
- Novais, R.; Smyth, T.; Nunes, V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.F.; Cantarutti, R. B. C.; Neves, J. C. L. N. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. R.F. Novais, V. Alvarez (Eds.), Fertilidade Do Solo. *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*. **2007**. 471-551.
- Oliveira, E. C. A. de.; Freire, F. J., Oliveira, R. I. de.; Oliveira, A. C. de.; Freire, M. B. G. dos S. Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. *Revista Ciência Agrônômica*. **2011**. 3, 579–588. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000300002>
- Orlando Filho, J.; Rosseto, R.; Casagrande, A. A. Cana-de-açúcar. In: Ferreira, M. E.; Cruz, M. C. P.; Rajj, B. V.; Abreu, C. A. (Ed). Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. *Potafos*. **2001**. 355-368.
- Perez, J.; Eigenbrode, S. D.; Hilje, L.; Tripepi, R. R.; Aguilar, M. E.; Mesen, F. Use of grafting to prevent *Hypsipyla grandella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) damage to new world meliaceae species. *Neotropical Entomology*. **2010**. 4, 618-625. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2010000400024>.
- RAIJ, B. V.; Cantarella, H. Quaggio, J. A. Furlani, A. M. C. Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo. **1997**.
- Rajj, B. van.; H. Cantarella. Outras Culturas Industriais. In: Rajj, B. van., Cantarella, H., Quaggio, J.A. e Furlani, A. M. C. editores, Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Instituto Agrônômico. **1996**.
- Rashad, M.; Hafez, M.; Popov, A. I. Humic substances composition and properties as an environmentally sustainable system: A review and way forward to soil conservation. *J. Planta Nutr*. **2021**. 45, 1072–1122. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.2005801>
- Resende, A. V. de. Adubação com micronutrientes no cerrado. *Embrapa Cerrados*. **2003**. 43 p.
- Reynolds, C. M.; Wolf, D. C.; Armbruster, J. A. Factors related to urea hydrolysis in soils. *Soil Sci*. **1987**. 49, 104-108.
- Rodrigues, M. P.S.; Pavinato, P.J.A.; Withers, A.P.B.; Teles, W.F.B. Herrera Legacy phosphorus and no tillage agriculture in tropical oxisols of the Brazilian savana. *Sci. Total Environ*. **2016**. 542, 1050-1061. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.118>
- Sanchez, P. A.; Uhera, G. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In: Khasawneh, F. E.; Sample, E. C.; Kamprath, E. J. The role of phosphorus in agriculture. *American Society of Agronomy*. **1980**. 471-514.
- Santos, F. D. dos.; Fantinel, R. A.; Weiler, E. B.; Cruz, J. C. fatores que afetam a disponibilidade de micronutrientes no solo. *Tecnológica*. **2021**. 2, 272-278. <https://doi.org/17058/tecnolog.v25i2.15552>
- Santos, H. G. dos; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C. dos; Oliveira, V. A. de; Lumbrreras, J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A. de; Araujo Filho, J. C. de; Oliveira, J. B. de; Cunha, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. *Embrapa*. **2018**. p.356.

Santos, V. R. dos.; Moura Filho, G.; Albuquerque, A. W. de.; Costa, J. P. V. da.; Santos, C. G. dos.; Santos, A. C. I. dos. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental*. **2009**. 4, 389–396. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000400004>

Sathyanarayan, S. R.; Warke, V. G.; Mahajan, G. B.; Annapure, U. S. Soil free nutrient availability to plants. *Jornal de Nutrição Vegetal*. **2022**. 5, 801–814. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2071736>

Silva, N. V. S. da.; Guimarães, C. R. R. Aspectos agronômicos e ambientais na utilização da cama de frango. *Ciências exatas e da terra*. **2023**. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10113400>

Smith, W. F.; Mudge, R. S.; Rae, L. A.; Glassop, D. Phosphate transport in plants. *Plant and Soil*. **2003**. 248, 71–83. <https://doi.org/10.1023/A:1022376332180>

Singh, T.B.; Ali, A.; Prasad, M.; Yadav, A.; Shrivastav, P.; Goyal, D.; Dantu, P.K. Role of Organic Fertilizers in Improving Soil Fertility. In: Naeem, M., Ansari, A., Gill, S. *Contaminants in Agriculture*. **2020**. 61–77. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41552-5_3

Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I.; Murphy, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. **2017**. 6, 888 p.

Tauqeer, H. M.; Turan, V.; Farhad, M.; Iqbal, M. Sustainable agriculture and plant production by virtue of biochar in the era of climate change. In *Managing Plant Production Under Changing Environment*; Hasanuzzaman, M., Ahammed, G.J., Nahar, K., Eds.; Springer: *Singapore*. **2022**. 21–42. https://doi.org/10.1007/978-981-16-5059-8_2

Uddin, S.; Williams, S.W.; Aslam, N.; Fang, Y.; Parvin, S.; Rust, J.; Zwieten, L.V.; Armstrong, R.; Tavakkoli, E. Ameliorating alkaline dispersive subsoils with organic amendments: Are productivity responses due to nutrition or improved soil structure? *Plant Soil*. **2022**. 480, 227–244. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05569-0>

Usharani, K.V.; Roopashree, K.M.; Dhananjay, N. Role of soil physical, chemical and biological properties for soil health improvement and sustainable agriculture. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. **2019**. 8, 1256-1267.

Vasconcelos, R. de L.; de Almeida, H.J.; Prado, M, R.; dos Santos, L.F.J.; Pizauro Júnior, J.M. Filter cake in industrial quality and in the physiological and acid phosphatase activities in cane-plant. *Industrial Crops and Products*. **2017**. 105, 133-141. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.04.036>

Withers, P. J. A.; M. Rodrigues; A. Soltangheisi; T. S. De Carvalho, L. R. G.; Guilherme, V. D. M.; Benites, L. C.; Gatiboni, D. M. G; De Sousa, R. D. S.; Nunes, C.A.; Rosolem, F. D.; Andreote, A.; De Oliveira, E. L. M.; Coutinho, P.S. Pavinato Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. *Sci. Rep*. **2018**. 8, 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20887-z>

Yamauchi, T.; Hara, T.; Sonoda, Y. Effects of boron deficiencies and calcium supply on the calcium metabolism in tomato plant. *Plant and Soil*. **1986**. 93, 223-231. <https://doi.org/10.1007/BF02374224>

4 CAPÍTULO II

Uso da adubação fosfatada de fonte mineral e orgânica no teor nutricional, qualidade tecnológica e produtividade da primeira soqueira de cana-de-açúcar

(Normas de acordo com a revista Agronomy-MDPI base)

Resumo: Em solos do Cerrado, a produtividade da cana-de-açúcar é diretamente influenciada pela disponibilidade de P. Porém, a crescente demanda pela eficiência e otimização dos adubos fosfatos gera incertezas quanto à quantidade a ser aplicada. Para isso, o experimento foi conduzido numa área experimental da Usina Denusa – Destilaria Nova União S/A, localizada na região Centro-Oeste do Brasil, em um Latossolo Vermelho eutrófico de Cerrado. Assim, este estudo teve o objetivo de avaliar o efeito de diferentes doses de superfosfato triplo e cama de frango sobre as características biométricas, nutricionais, na qualidade tecnológica e na produtividade de colmos da primeira soqueira da cana-de-açúcar. Foram analisadas o teor nutricional foliar de macro e micronutrientes, açúcar total retornável (ATR), rendimento de açúcar (RAR), rendimento de álcool (RA) e produtividade (TCH). Os resultados mostraram que o teor de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn nas folhas aumentou progressivamente primeira soqueira da cana-de-açúcar. Os parâmetros de industrial, ATR, RAR e RA apresentou ganhos com a interação com a fonte mineral e orgânica de P. Os ganhos de produtividade com os fertilizantes mineral e orgânico foram, respectivamente, 164,04 t ha⁻¹ e 167,69 t ha⁻¹ na dose de 138,10 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo e 4,67 t ha⁻¹ de CF. Além disso, o estudo destacou a qualidade superior da primeira soqueira do genótipo IACSP95-5094 na eficácia de consumo nutricional de P.

Palavras-chave: *Saccharum officinarum* spp.; superfosfato triplo; cama de frango; fósforo orgânico; análise de nutrientes foliares

4.1 Introdução

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é amplamente conhecida no mundo pela capacidade de produção de biomassa, sequestrando milhares de toneladas de CO₂ da atmosfera no seu desenvolvimento (Seabra *et al.*, 2008). A cultura apresenta balanço sustentável bastante atrativo relacionado às emissões de gases efeito estufa (GEE) no período industrial (Crusciol *et al.*, 2020). Portanto, é a cultura líder em exploração econômica no Brasil, sendo empregada para a produção de energia limpa e renovável, biocombustíveis, açúcar e variedade de outros produtos (Moraes *et al.*, 2023; Santos *et al.*, 2011; Vitti e Mazza, 2002; Nass *et al.*, 2007).

Para suprir a demanda nutricional da cana-de-açúcar, é comum o uso de grandes quantidades de fertilizantes minerais, visando obter rendimentos satisfatórios e garantir

boa produção no ciclo da planta (Crusciol *et al.*, 2020). Contudo, em solos brasileiros, o fósforo (P) é encontrado em baixas quantidades (Pinto, 2020). Na região do Cerrado, o P pode apresentar-se como fator limitante, por causa da alta adsorção de íons pelos óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) presentes no solo, por isso, é indispensável nessas regiões a adubação fosfatada com fontes solúveis (Oliveira *et al.*, 2021).

Nesse sentido, o superfosfato triplo (SFT) por ser uma fonte altamente solúvel e garantir liberação do P em curto espaço de tempo, é bastante comercializado no Brasil. Contudo, gera incertezas quanto à eficiência e otimização a longo prazo (Moraes *et al.*, 2017).

Dessa forma, a utilização de dejetos aviários surge como alternativa para substituição ou complementação da adubação mineral para cultura da cana-de-açúcar (Garcês *et al.*, 2017; Bortolini *et al.*, 2020; Guimarães *et al.*, 2016). O aproveitamento desse material para fertilidade do solo e nutrição mineral de planta na produção agrícola é excelente maneira de atender às demandas sustentáveis do sistema solo, planta e ambiente, uma vez que o Brasil é grande produtor e o maior exportador mundial de carne de frango (ABIEC, 2023; IBGE, 2023), conseqüentemente com a geração de grande quantidade de resíduos orgânicos, em especial a cama de frango.

A utilização de compostos orgânicos na agricultura, além de contribuir para a economia, permite a recuperação dos elementos minerais essenciais para as plantas (Crusciol *et al.*, 2020). Além disso, contribui para aumentar a capacidade de troca de cátions (CTC) do solo com a adição da matéria orgânica, com melhoria da estrutura física, retenção de água e fornecimento de P para a cultura (IPEA, 2012).

Após a aplicação de fertilizantes fosfatados no solo, uma série de processos físico-químicos ocorre, transformando o fosfato em substâncias fosfatadas complexas. Esses processos incluem reações de adsorção, precipitação, dissolução e interações com a matéria orgânica do solo.

Quando o fósforo está em solução ou adsorvido de forma fraca, considera-se que está na forma lábil, ou seja, está disponível para as plantas. No entanto, quando a adsorção ocorre por meio de ligações mais fortes, essa interação dificulta a liberação do fósforo para a solução do solo, caracterizando as formas não lábeis (Caione *et al.*, 2022).

No entanto, há poucas informações sobre o efeito da cama de frango quando associada a doses de superfosfato triplo no Cerrado brasileiro. Em virtude de o superfosfato triplo possuir alto valor aquisitivo e de a cana-de-açúcar ser considerada uma cultura semiperene, estabeleceu-se a hipótese de que o uso do superfosfato triplo

juntamente com a cama de frango pode influenciar de maneira positiva no teor de nutrientes foliar da primeira soqueira de cana-de-açúcar, com reflexo na elevação dos parâmetros tecnológicos. Além disso, acredita-se que a combinação efetiva de fontes orgânica e mineral de P pode oferecer simultaneamente benefícios à produção.

Com isso, o presente trabalho objetivou avaliar o efeito de diferentes doses de superfosfato triplo e cama de frango sobre as características biométricas, nutricionais, qualidade tecnológica e produtividade da primeira soqueira da cana-de-açúcar, colaborando para melhorar o manejo da adubação fosfatada dessa cultura de relevância mundial.

4.2 Materiais e métodos

4.2.1 Local de condução experimental

O experimento foi realizado em condições de campo, na Destilaria Nova União S/A, localizado na zona rural do município de Jandaia, estado de Goiás, Centro-Oeste do Brasil (17°15'52,6" S e 50°08'23,2" W, a 519 m de altitude). O município está localizado na região Sudoeste de Goiás, com clima Aw -Tropical Úmido (inverno seco e verão chuvoso) segundo a classificação climática de Köppen-Geiger (Alvares *et al.*, 2013).

Segundo os dados da estação meteorológica instalada na área, no período chuvoso que geralmente começa em outubro e termina em março, a precipitação média foi de 1403 mm ano⁻¹. O experimento foi realizado na safra 2020/2021 (primeira soqueira). Foi medida a precipitação pluvial (mm), temperatura (°C) e umidade média do ar (%). Os dados climatológicos registrados foram 1.139,40 mm; 24,19°C e 67,94% (Figura 1).

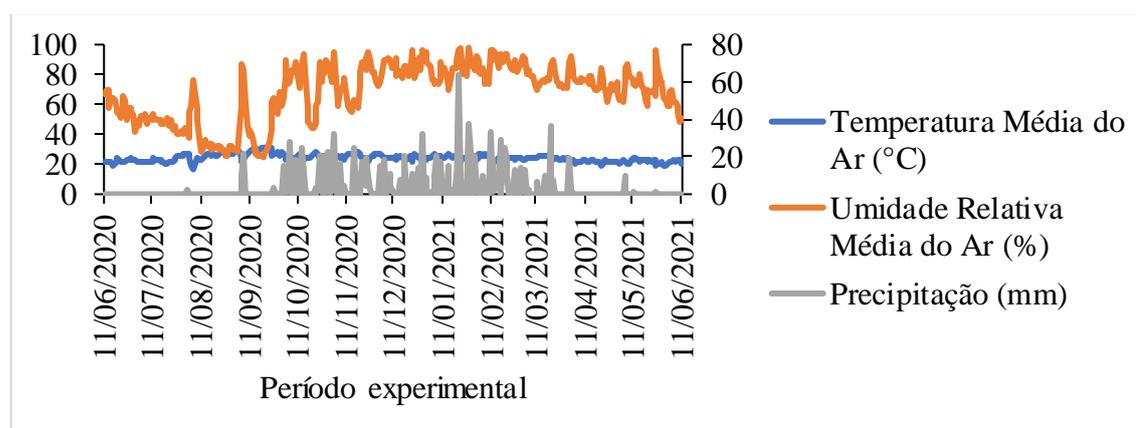


Figura 1. Precipitação pluvial mensal e temperatura da primeira soqueira de cana-de-açúcar. As lacunas nos resultados de precipitação significam zero. A temperatura foi registrada pela estação meteorológica instalada no campo experimental.

O plantio e a colheita da cana-planta ocorreram no ano agrícola 2019/2020, e a colheita e avaliação da cana-soca para o presente estudo ocorreu no ano agrícola 2020/2021, visando avaliar o efeito da segunda aplicação de fontes de P. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho eutrófico, típico (Santos *et al.*, 2018) de textura argilosa e relevo plano. O solo da área foi amostrado na profundidade de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m antes da instalação dos tratamentos, para a caracterização química e granulométrica, cujas análises foram realizadas conforme metodologias descritas em Rajj *et al.* (2001), Tabela 1.

Tabela 1. Resultados das análises químicas e granulométricas do solo, em amostras coletadas antes da instalação do experimento.

Prof. (m)	Fe	Cu	Zn	Mn	P	S	K	Al	Ca	
 mg dm ⁻³ cmol c dm ⁻³			
0,20	12,64	3,60	0,81	5,95	1,60	2,73	0,17	0,00	4,14	
0,40	10,52	3,10	0,40	4,72	1,60	2,63	0,16	0,00	4,28	
Prof. (m)	M.O.	COT	V	Al	Arg.	pH	Mg	H+Al	SB	CTC
 %			... g kg ⁻¹ cmol c dm ⁻³			
									
0,20	27,10	15,72	68,23	0,00	44,26	5,85	0,87	2,32	5,18	7,50
0,40	25,70	13,97	69,77	0,00	44,26	5,95	0,92	2,17	5,36	7,52

SB: Soma de bases; CTC: Capacidade de troca catiônica; M.O.: Matéria Orgânica; COT: Carbono orgânico total; V: Saturação por bases, Al: Saturação por alumínio; Prof.: Profundidade; Arg.: Argila; m: Metros.

4.2.2 Tratamentos com fontes de fósforo mineral e orgânico

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial 5 x 5, com quatro repetições. Os tratamentos foram cinco doses de fósforo mineral (0; 27,60; 55,20; 82,80 e 110,40 kg ha⁻¹ de P₂O₅), na forma de superfosfato triplo (STF), equivalentes a 0; 60; 120; 180 e 240 kg ha⁻¹, deste fertilizante, e cinco doses de fósforo orgânico, equivalente a 0; 32,7; 65,4; 98,1 e 130,8 kg ha⁻¹ de P₂O₅, com uso de cama de frango (CF), equivalentes a 0; 2; 4; 6 e 8 t ha⁻¹ do resíduo orgânico.

Os fertilizantes minerais e orgânicos foram aplicados manualmente no sulco de plantio, posteriormente sendo incorporados ao solo e, também, reaplicados aos 30 dias após a colheita da cana-planta (11/07/2020). Cada unidade experimental de 150 m² foi constituída por 10 linhas de cana-de-açúcar de 10 m de comprimento espaçadas em 1,5 m.

O SFT utilizado apresentava na composição 46% de P_2O_5 e 10 % de Ca com os grânulos no tamanho de 2 a 4 mm. Já a cama de frango foi oriunda de uma granja de frangos localizada no município de Palmeiras de Goiás, GO, oriunda de primeiro lote de frangos, que foi previamente curtida, que apresentava a seguinte composição (média das duas aplicações: cana-planta e primeira soqueira): N = 25,40 g kg^{-1} ; P = 7,40 g kg^{-1} ; K = 7,40 g kg^{-1} ; Ca = 0,19 g kg^{-1} ; Mg = 0,04 g kg^{-1} ; S = 15,20 g kg^{-1} ; B = 0,3 mg kg^{-1} ; Zn = 2,80 mg kg^{-1} ; de Fe = 25,00 mg kg^{-1} ; Mn = 5,20 mg kg^{-1} ; Cu = 3,40 mg kg^{-1} ; Material Mineral = 326,90 g kg^{-1} ; Material Orgânico = 673,20 g kg^{-1} ; Carbono Orgânico = 413,00 g kg^{-1} e umidade a 105 °C = 17,36%.

Na implantação da cultura (2019/2020), realizou-se adubação de P orgânico e mineral conforme cada tratamento. Para adubação nitrogenada optou-se pela ureia, na dose de 100 kg ha^{-1} , e para adubação potássica o adubo utilizado foi o cloreto de potássio (KCl) na dose de 80 kg ha^{-1} de K_2O (Raji, 1997). A mesma dose de ureia e cloreto de potássio foi aplicada após a colheita da cana-planta juntamente com os tratamentos.

A cana-de-açúcar (genótipo IACSP95-5094) foi plantada de forma vegetativa no dia 11/06/2019. O genótipo é caracterizado pela excelente performance, densidade de colmos e adaptação em solos argilosos. Os sulcos da cana-de-açúcar foram abertos a 0,25 m de profundidade. Cada parcela experimental apresentava as dimensões de 15 m de largura e 10 m de comprimento, contendo 10 linhas de cana-de-açúcar em espaçamento de 1,50 m.

A colheita da cana-soca ocorreu em 11/06/2021 realizada mecanicamente com auxílio de colhedora de esteira rodante John Deere, modelo 3520-3522, transportada em caminhão transbordo. Foram avaliadas as características nutricionais, a qualidade tecnológica e produtividade da cana-de-açúcar.

4.2.3 Crescimento e desenvolvimento

A altura das plantas, o número de perfilhos e o diâmetro médio do colmo foram avaliados para caracterização do crescimento e desenvolvimento da primeira soqueira de cana-de-açúcar. A altura das plantas foi medida levando em consideração a distância entre o colo da planta (superfície do colo) e a região auricular superior visível da folha +1, usando fita métrica graduada em cm. O número de perfilhos foi contabilizado por metro linear, contado no dia anterior ao corte da parcela. O diâmetro médio do colmo foi avaliado com paquímetro digital graduado em mm na base, ponto médio da cana-de-açúcar.

4.2.4 Características nutricionais

A avaliação do estado nutricional da primeira soqueira foi realizada 150 dias após a colheita da cana-planta. Foram coletadas 15 folhas +3 nas cinco linhas centrais de cada parcela, sendo excluída a nervura central do terço médio do limbo foliar, conforme descrito por Malavolta *et al.* (1997), Rajj (2011) e Oliveira *et al.* (2018). Foi analisando os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), conforme proposto por Silva (2009).

4.2.5 Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar

Cinco dias antes de cada colheita, foram coletados manualmente 10 colmos de cada parcela, mediante o corte rente ao nível do solo, para a determinação dos atributos tecnológicos. Posteriormente ao corte, foram feitos feixes com os colmos de cada parcela e enviados ao laboratório de análise tecnológica da Destilaria Nova União para avaliação dos seguintes parâmetros industrial: açúcares totais recuperáveis (ATR; kg t ha⁻¹), rendimento de açúcar (t ha⁻¹) e rendimento de álcool (m³ ha⁻¹), conforme sistema Consecana (2015) e Caldas (1998).

a) Açúcares totais recuperáveis (ATR), foi determinado pela equação:

$$\text{ATR} = (10 \times \text{POL} \times 1,05263 \times 0,915) + (10 \times \text{ARC} \times 0,915) \quad (1)$$

Em que,

POL = teor de sacarose aparente do caldo (%);

1,05263 = coeficiente estequiométrico de conversão da sacarose em açúcar redutor;

0,915 = coeficiente de recuperação da perda industrial de 8,5%;

10 x ARC são os açúcares redutores por tonelada de cana.

b) Rendimento de álcool (RAR) foi calculado pela equação:

$$\text{RAR} = (\text{PCC} \times \text{TCH} / 100). \quad (2)$$

Em que:

RAR = rendimento de açúcar (t ha⁻¹);

PCC = quantidade de açúcar bruto (%) contido nos colmos e determinada em laboratório;

TCH = toneladas de colmo por hectare (t ha⁻¹).

c) Rendimento de álcool (RA) foi determinado pela equação:

$$RA = ((PCC * F) + ARL) * Fg * 10 * PC. \quad (3)$$

Em que,

RA = rendimento de álcool ($m^3 \text{ ha}^{-1}$);

PCC = quantidade de açúcar bruto (%) contido nos colmos e determinada em laboratório;

F = fator de transformação estequiométrica de sacarose em uma molécula de glicose mais uma de frutose, igual a 1,052;

ARL = são os açúcares redutores livres (%), cujos valores variam de 0,7 a 0,85%, sendo que a destilaria utiliza 0,7 para PCC alto;

Fg = fator de Gay Lussac igual a 0,6475;

TCH = toneladas de colmo por hectare ($t \text{ ha}^{-1}$).

4.2.6 Produtividade de colmos

A produtividade da cana-de-açúcar em tonelada de colmo por hectare (TCH) foi avaliada através da pesagem total dos colmos em cada parcela experimental. Para tanto, realizou-se o corte das plantas rente ao solo com o auxílio da colhedora de cana, e transportados por caminhão transbordo acoplado de uma balança digital, pesadas em kg e posterior conversão para toneladas por hectare ($t \text{ ha}^{-1}$).

4.2.7 Análise de dados

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), com teste F ao nível de 5% de probabilidade e, nos casos de significância, foram realizadas análises de regressão. O efeito da safra, quando significativo, foi comparado pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas no software SISVAR® (Ferreira, 2011).

4.3 Resultados

A aplicação das doses de SFT e CF afetou a altura de plantas da primeira soqueira de cana-de-açúcar (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da análise de variância para altura de plantas (AP), diâmetro médio do colmo (DC) e número de perfilhos (NP), teor foliar de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), e açúcares totais recuperáveis (ATR), rendimento de açúcar (RAR), rendimento de álcool (RA) e produtividade em toneladas de colmo por hectare (TCH) da primeira soqueira de cana-de-açúcar em função de doses de superfosfato triplo (STF) e cama de frango (CF).

Variáveis	Quadrado médio					CV (%)
	Fonte de variação					
	SFT	CF	Int. SFT x CF	Bloco	Erro	
GL	4	4	16	3	72	
AP	330,03*	406,28**	87,93 ^{ns}	318,08*	105,48	3,60
DC	2,65**	2,57**	1,63**	2,08*	0,69	3,19
NP	8,35**	3,16**	3,45**	1,91**	0,44	4,96
N	8,03*	2,36 ^{ns}	5,97**	1,14 ^{ns}	1,17	6,07
P	0,33**	0,23*	0,33**	0,23*	0,07	10,37
K	0,36 ^{ns}	8,11**	0,79 ^{ns}	2,00*	0,5	5,76
Ca	1,20*	1,04*	0,52 ^{ns}	2,95**	0,34	13,74
Mg	0,06 ^{ns}	0,16**	0,05 ^{ns}	0,13**	0,03	9,71
S	0,21**	0,04 ^{ns}	0,05*	0,06 ^{ns}	0,03	9,53
B	26,86**	112,32**	17,35**	7,81 ^{ns}	7,44	14,39
Cu	7,25**	7,33**	3,39*	7,52**	1,65	12,65
Fe	293,57**	864,28**	492,06**	119,02*	45,44	5,94
Mn	804,70**	609,99**	250,53**	27,72 ^{ns}	49,12	9,8
Zn	3,33 ^{ns}	32,26**	6,91**	3,82 ^{ns}	1,52	6,21
ATR	128,88**	184,53**	75,27**	2,27 ^{ns}	4,25	1,29
RAR	10,36**	33,90**	5,93**	9,34**	2,28	5,88
RA	25,12**	59,43**	10,40**	0,76 ^{ns}	0,67	4,4
TCH	354,61**	1271,38**	107,61 ^{ns}	178,23 ^{ns}	76,96	5,46

QM: Quadrado médio; SFT: Superfosfato triplo; CF: Cama de frango; Int.: Interação; GL: Grau de liberdade; CV: Coeficiente de variação; ** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

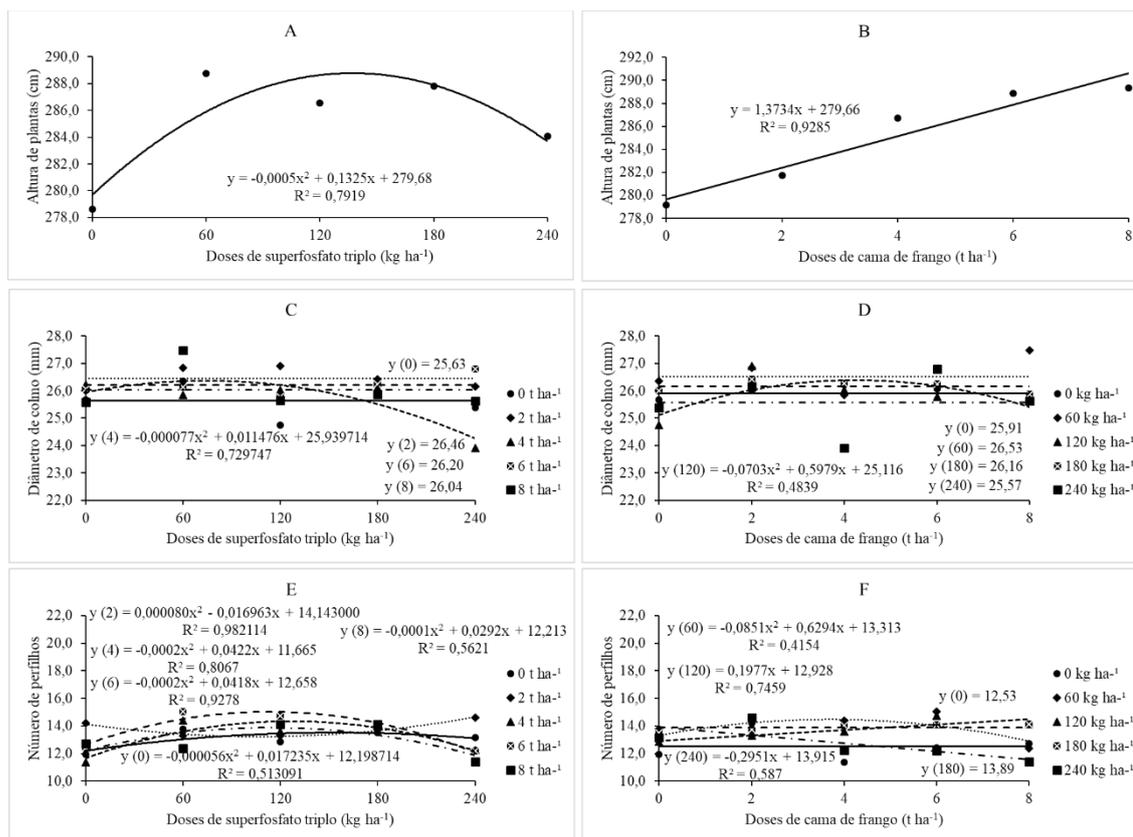


Figura 2. Altura de plantas de cana-de-açúcar em função das doses de superfosfato triplo e cama de frango (A e B), diâmetro de colmo e número de perfilhos sob desdobramento das doses de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango (C e E) e diâmetro de colmo e número de perfilhos sob desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo (D e F).

A altura de plantas da primeira soqueira de cana-de-açúcar em função das doses de SFT ajustou-se ao modelo quadrático com R^2 de 79,19% (Figura 2A). A maior altura da planta foi de 288,46 cm para a dose estimada de 132,50 kg ha⁻¹ de SFT e a menor foi de 278,61 m para 0 kg ha⁻¹ de SFT. Os dados indicam aumento de 3,41% na altura das plantas com a aplicação de 132,50 kg ha⁻¹ de SFT em comparação com 0 kg ha⁻¹ de SFT.

Efeito significativo das doses de CF para altura de plantas foi observado exibindo ajuste de modelo linear com R^2 de 92,85% (Figura 2B). A menor altura de plantas para as doses de CF foi de 279,17 cm observado para a dose de 0 t ha⁻¹, enquanto o maior foi de 289,32 cm observado na dose de 8 t ha⁻¹.

O diâmetro médio de colmo (DC) foi influenciado pelas doses de SFT e CF, bem com a interação entre SFT e CF (Tabela 2). Na análise de desdobramento das doses de SFT em cada doses de CF (Figura 2C), o diâmetro de colmo foi significativo apenas em função da dose de 4 t ha⁻¹ de CF. Os dados ajustaram-se ao modelo de distribuição quadrática, com um R^2 médio de 72,97%. O menor DC foi encontrado na dose de 240 kg

ha⁻¹ de SFT (23,92 mm), enquanto a dose que estimou o maior diâmetro de colmo pela equação de regressão (26,37 mm) foi de 74,52 kg ha⁻¹ de SFT. As doses de SFT nas doses 0, 2, 6 e 8 t ha⁻¹ de CF não foram significativas.

No desdobramento das doses de CF em cada dose de SFT, o DC foi significativo apenas na dose 120 kg ha⁻¹ de SFT (Figura 2D). Os dados ajustaram-se ao modelo quadrático, com R² de 48,39%. Através da equação de regressão, estimou o maior DC de 26,39 mm na dose de 4,25 t ha⁻¹ de CF. As doses de CF nas doses de 0, 60, 180 e 240 t ha⁻¹ de SFT não foram significativas.

O número de perfilhos (NP) foi influenciado pelas doses de SFT e CF, bem com a interação entre SFT x CF (Tabela 2). No desdobramento das doses de SFT em cada dose de CF, foi observado efeito para as doses 0, 2, 4, 6 e 8 t ha⁻¹ de CF (Figura 2E), cujos dados adequaram-se ao modelo quadrático, ajustaram ao modelo quadrático, com R² de 51,30; 98,21; 80,67; 92,78 e 56,21%, respectivamente.

As doses de SFT estimadas através das equações de regressão dentro das doses 0, 2, 4, 6 e 8 t ha⁻¹ de CF foram 153,88; 106,02; 105,50; 104,50 e 146,00 kg ha⁻¹, apresentando os NP de 13,52; 15,04; 13,89; 14,84 e 14,34, respectivamente.

Quando desdobradas as doses de CF dentro de cada doses de SFT, observou-se efeito das doses 60, 120 e 240 t ha⁻¹ de SFT (Figura 2F). As doses de CF dentro da dose 60 kg ha⁻¹ de SFT adequaram-se ao modelo quadrático de distribuição, com R² médio de 41,57%. Conforme a equação de regressão, as doses de CF dentro o NP máximo de 14,48.

Os resultados obtidos nas doses de CF em doses 120 e 240 kg ha⁻¹ de SFT ajustaram-se ao modelo linear (Figura 2F). A dose de 0 t ha⁻¹ de CF na dose 120 kg ha⁻¹ de SFT proporcionou menor NP (12,86) e a dose 6 t ha⁻¹ de CF condicionou maior NP (14,72). No entanto, na dose 240 kg ha⁻¹ de SFT, a dose de CF que apresentou menor NP foi de 8 t ha⁻¹ (11,43), tendo maior NP na dose 2 t ha⁻¹ (14,61).

Os teores foliares de N da primeira soqueira de cana-de-açúcar foram significativamente afetados pelas doses de superfosfato triplo (SFT), assim como pela interação entre os fatores SFT x cama de frango (CF) (Tabela 2).

Também, no desdobramento das doses de SFT dentro de cada dose de CF, foi observado efeito para as doses 0, 2, 6 e 8 t ha⁻¹ de CF (Figura 3A), cujos dados adequaram-se ao modelo linear para a dose 0 t ha⁻¹ de CF nas doses de SFT, sendo que a dose 240 kg ha⁻¹ de SFT proporcionou maior teor de N foliar (19,39 g kg⁻¹) com acréscimo de 24,90% quando comparado ao teor obtido na ausência de aplicação de fonte mineral de P (0 kg ha⁻¹ de SFT).

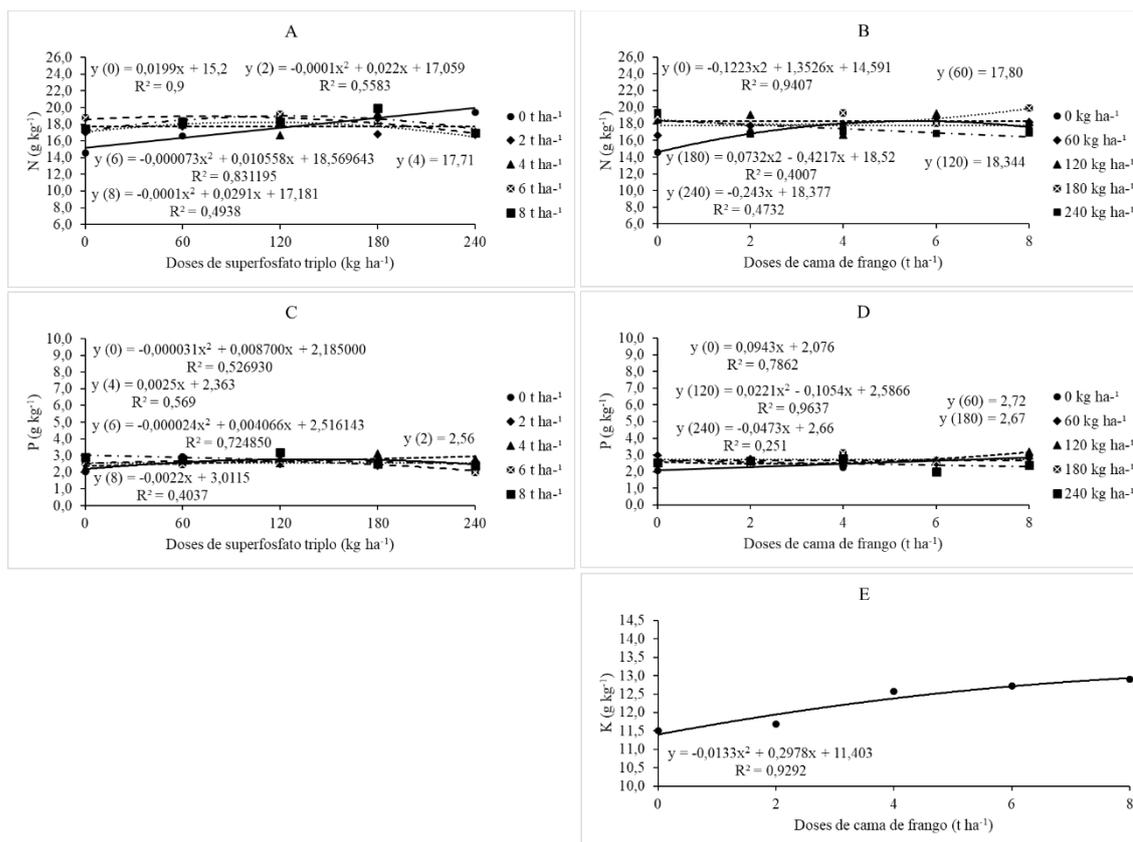


Figura 3. Teor foliar de nitrogênio (N) e fósforo (P) na cana-de-açúcar sob desdobramento das doses de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango (A e C), desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo (B e D) e teor foliar de potássio (K) na primeira soqueira de cana-de-açúcar em função das doses de cama de frango (E).

Os dados de teores de N obtidos nas doses SFT em doses 2, 6 e 8 t ha^{-1} de CF, ajustaram-se ao modelo quadrático, com R^2 de 55,83; 83,11 e 49,38%, respectivamente (Figura 3A). As doses de SFT nas doses 2 e 8 t ha^{-1} de CF apresentaram variação dos resultados de teor foliar de N de 44,17 e 50,62%. As doses de SFT estimadas através das equações de regressão nas doses 2, 6 e 8 t ha^{-1} de CF foram 110, 72,32 e 145,50 kg ha^{-1} , apresentando os teores de N foliar de 18,27; 18,95 e 19,30 g kg^{-1} , respectivamente. As doses de SFT nas dose de 4 t ha^{-1} de CF não foram significativas, apresentando teor de N médio de 17,71 g kg^{-1} .

Quando desdobradas as doses de CF em cada doses de SFT, observou-se efeito das doses 0, 180 e 240 t ha^{-1} de SFT (Figura 3B). As doses de CF nas doses 0 e 180 kg ha^{-1} de SFT adequaram-se ao modelo quadrático de distribuição, com R^2 médio de 94,07 e 40,07%, respectivamente. Conforme a equação de regressão, as doses de CF nas dose 0 t ha^{-1} de SFT, apresentaram comportamento crescente até 5,53 t ha^{-1} de CF, obtendo o teor máximo de N foliar de 18,33 g kg^{-1} .

As doses de CF nas dose de 180 kg ha⁻¹ de SFT promoveram comportamento decrescente dos resultados (-0,42%), cuja dose 2 t ha⁻¹ de CF proporcionou menor concentração foliar de N (16,83 g kg⁻¹) e a dose 8 t ha⁻¹ de CF condicionou maior concentração de N (19,90 g kg⁻¹) (Figura 3B). Os teores de N nas doses de CF em resposta à aplicação da dose de 240 kg ha⁻¹ de SFT ajustaram-se ao modelo linear decrescente, sendo que os teores de N encontrado nessa dose obtiveram variação de 52,68%.

O maior teor de N foliar nas doses de CF com a aplicação da dose 240 kg ha⁻¹ de SFT foi observado na dose 0 t ha⁻¹ de CF, em média, igual a 19,39 g kg⁻¹ (Figura 3B). Os teores de N nas doses de CF em doses 60 e 120 kg ha⁻¹ de SFT não foram significativos.

O teor de P foliar foi afetado de forma isolada pelas doses de SFT e de CF, e pela interação entre as doses SFT x CF (Tabela 2). Contudo, no desdobramento das doses de SFT em cada dose de CF, foi observado efeito significativo apenas para as doses 0, 4, 6 e 8 t ha⁻¹ de CF (Figura 3C). Entretanto, nas doses de SFT em doses 0 e 6 t ha⁻¹ de CF foi verificado comportamento quadrático, com R² 52,69 e 72,48 %.

As doses de SFT estimadas nas doses 0 e 6 t ha⁻¹ de CF, foram 140,32 e 84,71 kg ha⁻¹, que alcançou a máxima concentração de P foliar de 2,80 e 2,69 g kg⁻¹ (Figura 3C). Já as doses de SFT nas dose 4 t ha⁻¹ de CF apresentaram comportamento linear crescente, com R² de 56,69 %; enquanto as doses de SFT nas dose 8 t ha⁻¹ de CF ajustaram-se ao modelo linear de ordem decrescente, com o R² de 40,37%. As equações mostram teores de P de 3,11 e 3,20 g kg⁻¹ nas doses 180 e 120 kg de SFT, respectivamente. Os teores de P foliar das doses de SFT em dose 2 t ha⁻¹ de CF não foram significativos.

Quando desdobradas as doses de CF em cada dose de SFT, observa-se efeito nas doses de 0, 120 e 240 kg ha⁻¹ de SFT sobre os teores de P foliar (Figura 3D). Os teores de P nas doses de CF em dose 0 kg⁻¹ de SFT ajustaram-se a equação linear crescente, e a dose 8 t ha⁻¹ de CF apresentou maior teor de P foliar (2,91 g kg⁻¹), diferindo em 29,90% superior àquele teor obtido na cana-de-açúcar produzidas sob a dose 0 t ha⁻¹ de CF.

O comportamento das doses de CF nas dose 120 kg ha⁻¹ de SFT foi quadrática (R² = 96,37%), com maior concentração de P foliar, verificado na dose 8 t ha⁻¹ (3,20 g kg⁻¹) (Figura 3D). A análise de desdobramento das doses de CF nas dose 240 kg ha⁻¹ de SFT mostra que os valores ajustaram ao modelo linear decrescente, com R² de 25,10%. Mesmo sendo significativo, o R² da equação sinaliza que 74,90% dos resultados não se explica m pelas variações das doses de CF. Já as doses de CF nas doses 60 e 180 kg ha⁻¹ SFT não foram significativas.

O teor de K foliar foi significativo para as doses de CF (Figura 3E). O teor de K aumentou exponencialmente com o aumento das doses de CF. Através da equação de regressão, a dose máxima estimada de CF foi 11,20 t ha⁻¹, obtendo teor de K foi 13,07 g kg⁻¹.

Os teores de Ca foliar em função das doses SFT (Figura 4A) e de CF (Figura 4B) ajustaram ao modelo quadrático de regressão, com R² = 95,85 e 86,91%, respectivamente. O teor máximo de Ca foliar obtido foi na dose estimada de SFT de 153,67 kg ha⁻¹, equivalente a 4,45 g kg⁻¹ (Figura 4A). O teor foliar de Ca da primeira soqueira de cana-de-açúcar aumentou até a dose de CF de 8,67 t ha⁻¹ CF, quando atingiu o teor máximo de 4,44 g kg⁻¹ (Figura 4B).

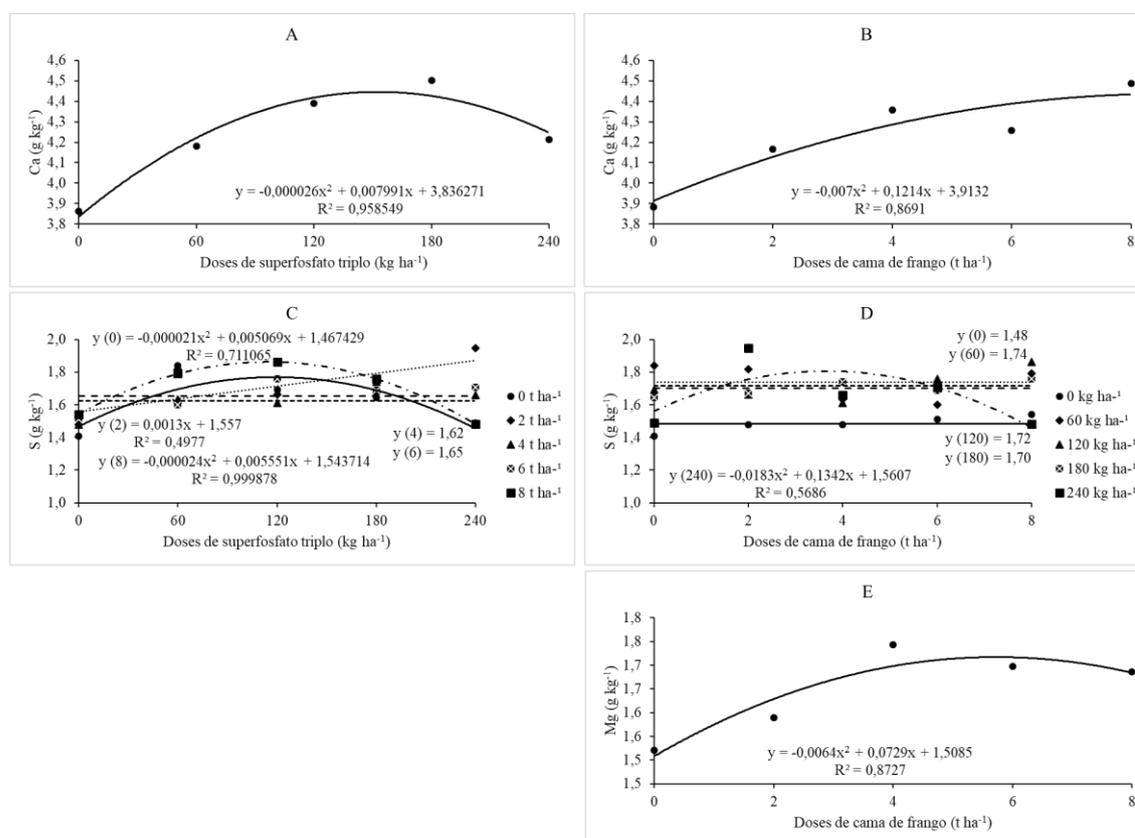


Figura 4. Teor foliar de cálcio (Ca) na primeira soqueira de cana-de-açúcar em função das doses de cama de frango (A), teor foliar de cálcio na cana-de-açúcar em função das doses de superfosfato triplo (B), teor foliar de enxofre (S) na cana-de-açúcar sob desdobramento das doses de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango (C), desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo (D) e teor foliar de magnésio (Mg) na primeira soqueira de cana-de-açúcar em função das doses de cama de frango (E).

O teor de Mg foliar na primeira soqueira ajustou-se ao modelo quadrático para as doses de CF (Figura 4E). Observa que a equação quadrática apresentou coeficiente da

ordem crescente de 0,07% por cada dose de CF até 5,70 t ha⁻¹, obtendo 1,72 g kg⁻¹ de Mg foliar.

O teor de S foliar foi significativo para a interação das doses de SFT x CF. A análise de desdobramento das doses de SFT dentro de cada dose de CF mostra significância nas doses de 0, 2 e 8 t ha⁻¹ de CF (Figura 4C).

Os teores de S nas doses de SFT em doses 0 e 8 t ha⁻¹ de CF ajustaram-se ao modelo quadrático, com R² de 71,10 e 99,98 %, respectivamente. Já os valores obtidos nas doses de SFT em dose 2 t ha⁻¹ de CF ajustaram-se ao modelo linear crescente (R² = 49,77%).

As doses estimadas de SFT através da equação de regressão nas doses 0 e 8 t ha⁻¹ de CF foram 135,48 e 115,65 kg ha⁻¹, respectivamente, obtendo 1,85 e 1,86 g kg⁻¹ de S foliar (Figura 4C). A medida aumentava doses de SFT em dose 2 t ha⁻¹ de CF na primeira soqueira de cana-de-açúcar, ao atingir a dose máxima (240 kg ha⁻¹), obteve maior concentração de S foliar (1,95 g kg⁻¹). Os teores de S, nas doses de SFT em doses 4 e 6 t ha⁻¹ de CF não foram significativos.

No desdobramento das doses de CF em doses de SFT, somente a dose de 240 kg ha⁻¹ de SFT foi significativa (Figura 4D). A equação de melhor ajuste foi a quadrática, com o R² de 56,86%. Nesta dose, estimou-se a dose de 3,67 t ha⁻¹ de CF com a concentração de S de 1,81 g kg⁻¹. Os teores de S nas doses de CF em doses 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de SFT não foram significativos.

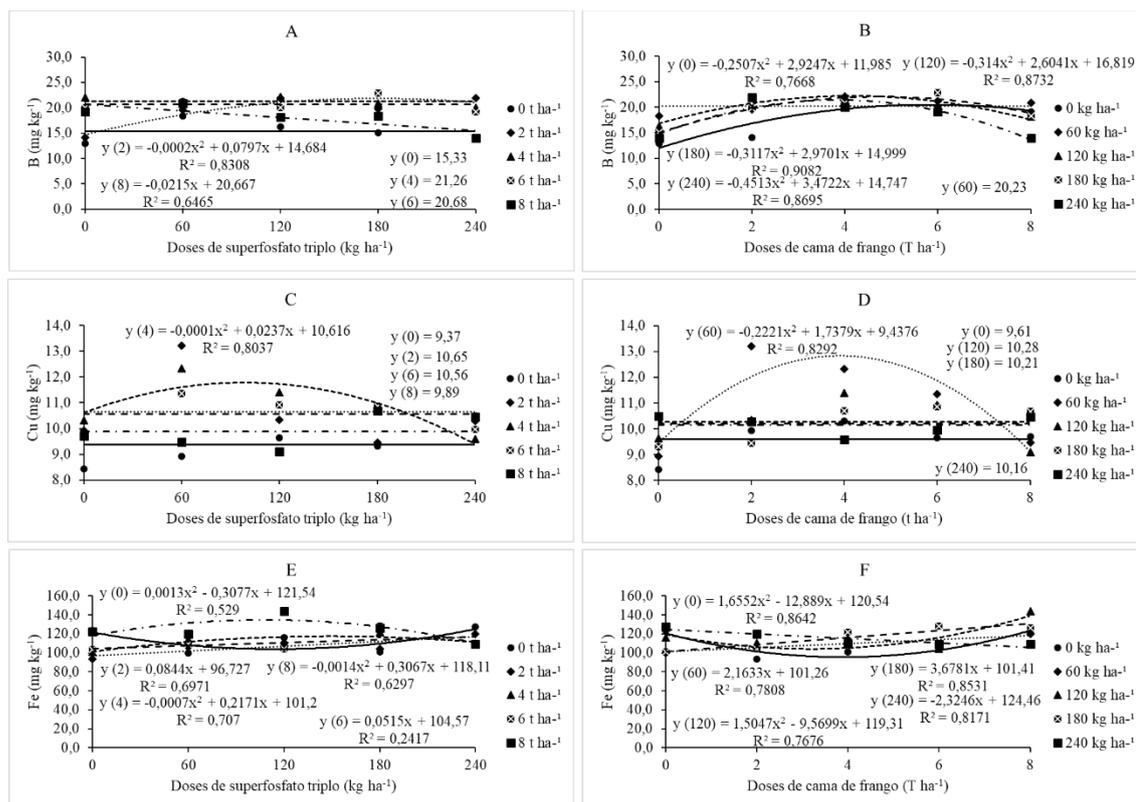


Figura 5. Teor foliar de boro (B) na primeira soqueira de cana-de-açúcar sob desdobramento das doses de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango (A), teor foliar de boro na cana-de-açúcar sob desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo (B), teor foliar de cobre (Cu) na cana-de-açúcar sob desdobramento das doses de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango (C), teor foliar de cobre na cana-de-açúcar sob desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo (D), teor foliar de ferro (Fe) na cana-de-açúcar sob desdobramento das doses de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango (E) e teor foliar de ferro na cana-de-açúcar sob desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo (F).

Para o teor de B foliar, ocorreu efeito significativo na interação SFT x CF (Tabela 2). Na análise de desdobramento feita na interação SFT x CF, em que as doses de SFT nas doses 2 e 8 t ha⁻¹ de CF e as doses de CF nas doses 0, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹ de SFT foi observado significância (Figura 5A e 5B).

As doses de SFT nas dose 2 t ha⁻¹ de CF apresentaram ajuste de R² 83,08%, e a dose de 199,25 kg ha⁻¹ de SFT, estima o teor de B de 22,62 mg kg⁻¹ (Figura 5A). Para as doses de SFT nas dose 8 t ha⁻¹ de CF, os resultados obtidos adequaram-se à equação linear decrescente, cuja dose de 240 kg ha⁻¹ proporcionou menor teor de B foliar (13,96 mg kg⁻¹), obtendo a maior concentração de B na dose 60 kg ha⁻¹ de SFT (20,83 mg kg⁻¹). Não ocorreu diferença estatística nas doses de SFT em doses 0, 4 e 6 t ha⁻¹ de CF para o teor de B foliar.

No desdobramento das doses de CF em cada doses de SFT para o B, observou-se significância as doses 0, 120, 180, e 240 kg ha⁻¹ de SFT (Figura 5B). A equação polinomial de segundo grau, cujas doses estimadas de 5,83; 4,15; 4,76 e 3,85 t ha⁻¹ de CF, apresentou o teor de B de 20,51; 22,22; 22,07 e 21,43 mg kg⁻¹, respectivamente, nas folhas de cana-de-açúcar da primeira soqueira. As menores concentrações de B foliar foram observadas na combinação das doses 0 t ha⁻¹ de CF com as doses 0 kg ha⁻¹ de SFT (12,96; 16,25; 15,13 e 13,96 mg kg⁻¹). As doses de SFT nas dose 60 kg ha⁻¹ de SFT não foram significativas.

Na avaliação do teor de Cu foliar através do desdobramento das doses de SFT nas doses de CF, foi possível notar significância apenas na dose 4 t ha⁻¹ de CF (Figura 5C). Os dados com essa dose adequaram-se à equação quadrática, cuja dose estimada de 118,50 kg ha⁻¹ de SFT proporcionou a concentração máxima de Cu foliar, igual a 12,02 g kg⁻¹. Os teores de Cu foliar nas doses de SFT nas doses 0, 2, 6 e 8 t ha⁻¹ de CF não foram significativos.

Já no desdobramento das doses de CF em cada doses de SFT, apenas a dose 60 kg ha⁻¹ de SFT apresentou significância (Figura 5D). Nesta dose de STF, a dose CF estimada através da equação de regressão foi 3,91 t ha⁻¹, obtendo teor de Cu foliar de 12,84 g kg⁻¹ com ajuste de 82,92%. Os teores de Cu nas doses de CF em doses 0, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹ de SFT, não foram significativos.

O teor de Fe foliar também foi afetado pela interação entre as doses de SFT x CF (Figura 5E, 4F). No desdobramento das doses de SFT triplo nas doses de CF, efeito significativo foi observado para todas as doses em estudo (0, 2, 4, 6, e 8 t ha⁻¹ de CF) (Figura 5E). Os valores obtidos nas doses de SFT em doses 0, 4 e 8 t ha⁻¹ de CF ajustaram-se a equação polinomial de segundo grau, com o ajuste dos dados, respectivamente, de R² de 52,90; 70,70 e 62,97%.

Nas doses de SFT em dose 0 t ha⁻¹ de CF, os teores de Fe tiveram grande oscilação, sendo 47,10% dos valores não explicados (Figura 5E). As equações de regressão para as doses 4 e 8 t ha⁻¹ de CF mostraram que para as doses estimadas de 155,07 e 109,54 kg ha⁻¹ de SFT, apresentaram os teores de Fe de 118,03 e 135,91 mg kg⁻¹, respectivamente.

Para as doses de SFT nas doses 2 e 6 t ha⁻¹ de CF, o comportamento de distribuição foi linear, com R² = 69,71 e 24,17%, respectivamente (Figura 5E). Nas doses 240 e 180 kg ha⁻¹ de SFT nas doses 2 e 6 t ha⁻¹ de CF apresentaram maiores concentrações de Fe foliar (120,12 e 127,84 mg kg⁻¹).

Observando as doses de CF em cada dose de SFT para o teor foliar de Fe, as doses 0 e 120 kg ha⁻¹ de SFT ajustaram-se ao modelo quadrático da ordem crescente, com R² de 86,42 e 76,76%, respectivamente (Figura 5F). Nestas doses, a equação de regressão estimou as doses 3,89 e 3,18 t ha⁻¹ de CF, e apresentou menor teor Fe de 95,45 e 104,09 mg kg⁻¹, respectivamente, diferindo 51,38 e 60,25% dos maiores teores encontrados nas doses de 8 t ha⁻¹ de CF em doses 0 e 120 kg ha⁻¹ de SFT (122,17 e 144,03 mg kg⁻¹).

Os teores de Fe obtidos nas doses de CF em doses 60 e 180 kg ha⁻¹ de SFT ajustaram-se ao modelo linear crescente com o R² de 78,08 e 85,31% (Figura 5F). As doses 8 e 6 t ha⁻¹ de CF em doses 60 e 180 kg ha⁻¹ de SFT apresentou teor de Fe foliar de 120,12 e 127,84 mg kg⁻¹, respectivamente. Nas doses de CF em dose 240 kg ha⁻¹ de SFT, houve ajuste linear decrescente dos dados (R² = 81,71). Quando se elevou a dose de CF na dose 240 kg ha⁻¹, o Fe foliar diminuiu, chegando a 109,27 mg kg⁻¹, apresentando maior teor sob a dose 0 t ha⁻¹ de CF (127,16 mg kg⁻¹).

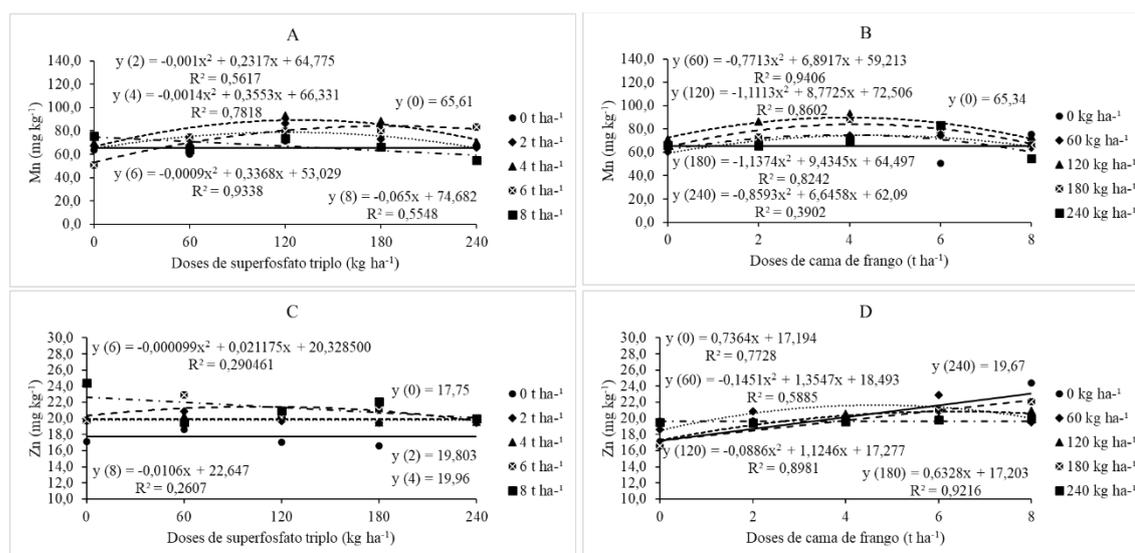


Figura 6. Teor foliar de manganês (Mn) na primeira soqueira de cana-de-açúcar, sob desdobramento das doses de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango (A), teor foliar de manganês na cana-de-açúcar sob desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo (B), teor foliar de zinco (Zn) na cana-de-açúcar sob desdobramento das doses de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango (C) e teor foliar de zinco na cana-de-açúcar sob desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo (D).

Os teores de Mn foram afetados pela interação das doses SFT x CF (Tabela 2). Na análise de desdobramento para os teores de Mn, as doses de SFT nas doses 2, 4 e 6 t ha⁻¹ de CF, os dados ajustaram ao modelo quadrático, R² 53,17; 78,18 e 93,28%, respectivamente (Figura 6A). Nas doses 115,85; 126,89 e 187,11 kg ha⁻¹ de SFT, estimou-

se os teores de Mn foliar de 78,2; 88,87 e 84,54 mg kg⁻¹, respectivamente, apresentando diferenças de 14,03; 21,59 e 39,90% quando comparadas aos menores teores de Mn obtidos nas doses 0 kg ha⁻¹ de SFT.

Os resultados obtidos nas doses de SFT em dose 8 t ha⁻¹ de CF ajustaram-se ao modelo linear decrescente, com variação de 44,52% dos teores de Mn (Figura 6A). Neste tratamento, observa-se que na dose 0 kg ha⁻¹ de SFT obteve maior teor de Mn (75,48 mg kg⁻¹). As doses de SFT em dose 0 t ha⁻¹ de CF não apresentaram significância.

As doses 0, 2, 4, 6 e 8 t ha⁻¹ CF nas doses de SFT proporcionaram respostas positivas nos teores de Mn (Figura 6B). O modelo quadrático foi o que melhor adaptou-se as respostas dos teores de Mn nas doses de CF em doses 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹ de SFT.

Nota-se que à medida que as doses de CF aumentam, o teor de Mn estabelece até os pontos 4,47; 3,95; 4,15 e 3,87 t ha⁻¹ obtendo o teor de Mn estimado de 74,61; 89,82; 84,06 e 74,94 mg kg⁻¹, respectivamente, em doses 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹ de SFT. Nestas doses, o coeficiente de variação do teor de Mn foi, respectivamente 94,06; 86,02; 82,42 e 39,02%, destacando a dose 240 kg ha⁻¹ de SFT com baixo ajuste de danos. Os teores de Mn encontrados nas doses de CF em dose 0 kg ha⁻¹ de SFT não foram significativos.

O teor de Zn foliar foi significativo para a interação SFT x CF (Tabela 2). Nota-se nas figuras 5C e 5D que, as doses de SFT em doses 0, 2 e 4 t ha⁻¹ de CF, e as doses de CF em dose 240 kg ha⁻¹ de SFT, não apresentaram significância.

As equações significativas nas doses de SFT nas doses de CF, a dose 6 t ha⁻¹ de CF ajustou-se ao modelo quadrático (R² 29,04%) e a dose 8 t ha⁻¹ de CF, ajustou-se ao modelo linear decrescente com o ajuste de R² 26,07% dos dados (Figura 6C). Os teores de Zn foliar encontrado nas doses de SFT em doses 6 e 8 t ha⁻¹ CF, apresentaram ajustes baixos dos dados.

Observa-se no desdobramento das doses de CF em doses de SFT que, as doses 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de SFT em doses de CF, apresentaram significância de 77,28; 58,85; 89,81 e 92,16% dos dados, respectivamente (Figura 6D). Os dados dos teores de Zn relativos às doses de CF em doses 0 e 180 kg ha⁻¹ de SFT ajustaram-se ao modelo linear crescente, cujas maiores doses de CF (8 t ha⁻¹) proporcionaram maior concentração de Zn (24,41 e 22,10 mg kg⁻¹).

Já os teores de Zn obtidos nas doses de CF nas doses 60 e 120 kg ha⁻¹ de SFT, apresentaram coeficientes de regressão crescente, da ordem de 1,35 e 1,24%,

respectivamente, por unidade de Zn foliar até 4,69 e 3,35 t ha⁻¹ (Figura 6D). Neste ponto, os teores máximos de Zn estimados foram de 21,65 e 20,58 mg kg⁻¹, respectivamente, para as doses de CF nas doses 60 e 120 kg ha⁻¹ de SFT. A partir daí, à medida que aumentou a dose de CF, o teor de Zn foliar diminuiu na razão de 0,14 e 0,08% para cada mg kg⁻¹ folha.

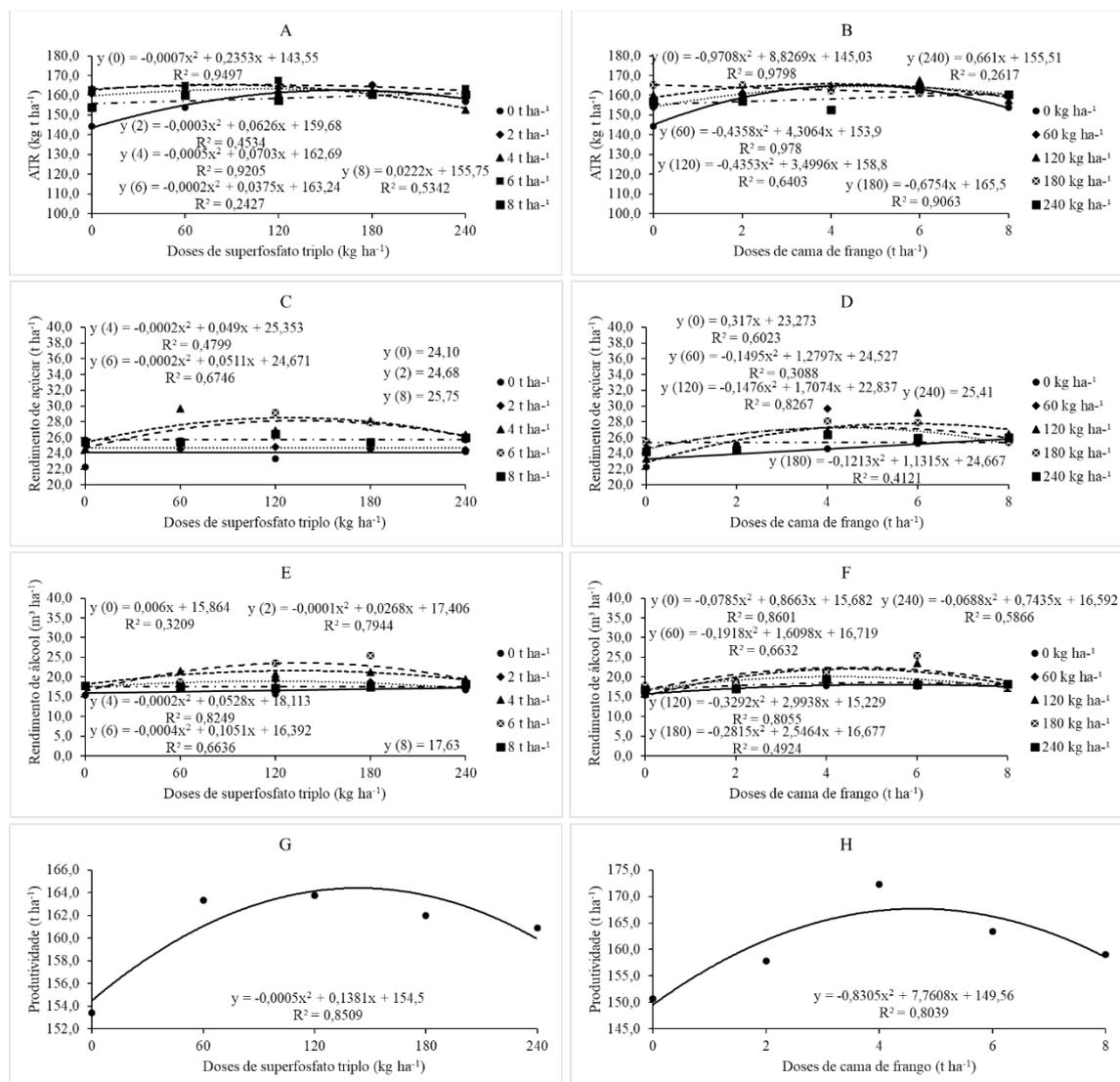


Figura 7. Açúcares totais recuperáveis (ATR) na primeira soqueira de cana-de-açúcar sob desdobramento das doses de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango (A), açúcares totais recuperáveis da cana-de-açúcar sob desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo (B), rendimento de açúcar da cana-de-açúcar sob desdobramento das doses de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango (C), rendimento de açúcar da cana-de-açúcar sob desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo (D), rendimento de álcool da cana-de-açúcar sob desdobramento das doses de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango (E), rendimento de álcool da cana-de-açúcar sob desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo (F), produtividade de colmo por hectare da cana-de-açúcar em função das doses de superfosfato triplo (G), produtividade de colmo por hectare da cana-de-açúcar em função das doses de cama de frango (H).

Para o açúcar total retornável (ATR), houve interação significativa de SFT x CF; assim, procedeu-se o desdobramento das doses de SFT em cada dose de CF e para as doses de CF em cada dose de SFT (Figura 7A, 7B). O ATR variou para as doses SFT em função das doses 0, 2, 4, 6 e 8 t ha⁻¹ de CF (Figura 7A). Os dados de ATR nas doses de SFT em doses 0, 2, 4 e 6 kg ha⁻¹ de CF adequaram-se ao modelo quadrático com R² de 94,97; 45,34; 92,05 e 24,27, respectivamente; enquanto as doses de SFT em dose de 8 t ha⁻¹ de CF, os resultados obtidos ajustaram-se ao modelo linear crescente, tendo um R² médio de 53,42%.

Nas equações quadráticas das doses de SFT em doses 0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹ de CF, o ATR respondeu positivamente às doses de SFT estimadas até os pontos máximo de 168,07; 104,33; 70,30 e 93,75 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 7A). Nesses pontos, o ATR atingiu 163,32; 162,95; 165,16 e 165,00 kg t ha⁻¹. Entretanto, a partir do ponto máximo de cada dose, a tendência é diminuir o ATR com o incremento das doses de SFT. Nota-se variação dos valores do ATR obtidos nas doses de SFT em dose 8 t ha⁻¹ de CF, que foram de 153,82; 160,20; 157,30; 160,36 e 160,41 kg t ha⁻¹ de cana, respectivamente, para as doses de 0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹ de SFT.

Percebe-se no desdobramento das doses de CF em cada dose de SFT para ATR, encontrou relação quadrática para as doses de CF nas doses 0, 60 e 120 kg ha⁻¹ de SFT (Figura 7B). Conforme a equação de regressão, observou-se que para as doses estimadas de 4,55; 4,94 e 4,02 t ha⁻¹ de CF houve aumento no teor de ATR da primeira soqueira da cana-de-açúcar, respectivamente, em doses 165,09; 164,54 e 165,83 kg t ha⁻¹ de SFT.

As doses de CF em dose 180 kg ha⁻¹ de SFT, nota-se que o modelo linear decrescente foi o que melhor se ajustou aos dados médios de ATR, com ajuste de 90,63% (Figura 7B). A dose 2 t ha⁻¹ de CF com 180 kg ha⁻¹ de SFT proporcionou ART de 165,22 kg t ha⁻¹, com redução de 2,94% quando elevou a dose de CF para 8 t ha⁻¹.

O comportamento das doses de C em dose 240 kg t ha⁻¹ de SFT mostra relação linear decrescente (Figura 7B). Os valores de ATR nesta dose de SFT em doses de CF apresentaram ajuste baixo (R² 26,17%), tendo 73,83% dos dados não explicados pelo modelo matemático. Os valores de ATR obtidos neste tratamento foram 156,98, 157,18; 152,65; 163,55 e 160,41 kg t ha⁻¹, respectivamente, nas doses 0, 2, 4, 6 e 8 t ha⁻¹ de CF.

O rendimento de açúcar (RAR) comportou-se de forma significativa na interação entre as doses CF x SFT (Figura 7C, 7D). Ocorreu diferença nas doses de SFT em doses 4 e 6 t ha⁻¹ de CF (Figura 7C). Entretanto, para as doses 4 e 6 t ha⁻¹ de CF em doses de SFT, adequaram-se ao modelo quadrático com R² de 47,99 e 67,46%, respectivamente

(Figura 7C). Os valores de rendimento de açúcar obtidos na dose 4 t ha⁻¹ de CF alcançaram relação baixa.

A equação de regressão mostra que o aumento das doses de SFT até 122,50 e 127,75 kg ha⁻¹ proporcionou aumento no rendimento de açúcar, estimados de 28,35 e 27,94 t ha⁻¹, respectivamente (Figura 7C). As doses de SFT em doses 0, 2 e 8 t ha⁻¹ de CF não foram significativas.

O rendimento de açúcar quando analisado nas doses de CF em dose 0 kg ha⁻¹ de SFT, observa-se ajuste ao modelo linear ($R^2 = 60,23$) (Figura 7D). Para essa dose de SFT, a dose de CF de máxima (8 t ha⁻¹) condicionou rendimento de açúcar de 25,42 t ha⁻¹, proporcionando aumento de 12,27% em relação à dose 0 t ha⁻¹ de CF. As doses de CF em doses 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de SFT foram significativas, cujos dados ajustaram ao modelo quadrático. As doses de CF em doses 60 e 120 kg ha⁻¹ de SFT apresentaram coeficiente de relação extremamente baixos ($R^2 = 30,88$ e $41,25\%$), mostrando que o rendimento de açúcar estimados nestes níveis não são representativos.

As doses estimadas através das equações de regressão (4,28; 5,78 e 4,66 t ha⁻¹ de CF) em doses de SFT, apresentam valores de rendimento de açúcar de 27,27; 27,27 e 27,31 t ha⁻¹, respectivamente (Figura 7D). Já o rendimento de açúcar nas doses de CF em dose 240 kg ha⁻¹ de SFT não obteve significância.

Para o rendimento de álcool da primeira soqueira de cana-de-açúcar, houve desdobramento das doses de SFT em doses 0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹ de CF (Figura 7E). Os dados de rendimento de álcool nas doses de SFT em dose 0 t ha⁻¹ de CF responderam de forma linear crescente, com relação aos dados de $R^2 32,09\%$. O rendimento máximo de álcool observado nesta dose de CF foi 17,87 m³ ha⁻¹, obtido na dose de 180 kg ha⁻¹ de SFT.

Para resultados obtidos nas doses de SFT em doses 2, 4 e 6 t ha⁻¹ de CF, os resultados ajustaram melhor ao modelo quadrático (Figura 7E). Através da equação de regressão, as doses estimadas de SFT de 134,00; 132,00 e 131,38 kg ha⁻¹ proporcionaram 19,20; 21,60 e 23,30 m³ ha⁻¹, respectivamente, de rendimento de álcool. Não houve significância nas doses de SFT em dose 8 t ha⁻¹ de CF.

Para o rendimento de álcool, no desdobramento das doses de CF em cada dose de SFT, as doses 0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹ de SFT foram significativas, com ajuste quadrático dos resultados (Figura 7F). De acordo com as equações de regressão das doses de CF em doses de SFT, ao aplicar as doses 5,52; 4,20; 4,55; 4,52 e 4,54 t ha⁻¹ de CF em doses 0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹ de SFT, o rendimento de álcool estimado seria, respectivamente, de 18,07; 20,10; 22,04; 22,44 e 18,60 m³ ha⁻¹. Entretanto, as doses 180

e 240 kg ha⁻¹ de SFT em doses de CF apresentaram a relação mais baixa, com R² = 49,24 e 58,66%, respectivamente.

Para o TCH, esta variável foi afetada pelas doses de SFT e CF (Figura 7G, 7H). O TCH, quando analisado as doses de SFT, observou-se que os dados adequaram-se ao modelo quadrático, e o maior valor de TCH foi obtido com a dose de 138,10 kg ha⁻¹ de SFT (TCH = 164,04 t ha⁻¹).

O comportamento do TCH foi semelhante com uso de doses de CF, visto que a produtividade apresentou respostas positivas com o incremento da dose até 4,67 t ha⁻¹ de CF. Resultando em TCH estimado de 167,69 t ha⁻¹, obtendo desempenho produtivo de 2,18% acima, quando comparado a produtividade sob as doses de SFT.

4.4 Discussão

4.4.1 Diferentes doses de Superfosfato triplo e Cama de frango afetam o crescimento e desenvolvimento da primeira soqueira da cana-de-açúcar

A fertilização com SFT e CF influenciou na altura de plantas da primeira soqueira de cana-de-açúcar. Quando avaliado AP sob as doses de CF, as plantas de cana-de-açúcar apresentaram 0,3% de acréscimo comparando a altura máxima obtida nos tratamentos sob doses de SFT. Por causa da alta disponibilidade de P no sistema solo-planta impactando positivamente no crescimento da planta.

A cama de frango causa baixa taxa de mineralização de nutrientes, aumentando a disponibilidade P no solo e plantas (Ramos *et al.*, 2017). A adição de fertilizante mineral como fonte de P junto com composto orgânico dificulta a ação da sorção de fósforo nos minerais de alumínio e ferro, impedindo a formação de fases termodinamicamente mais estáveis e aumentando a disponibilidade do nutriente à planta (BORGES *et al.*, 2019).

A nutrição adequada promove aumento no tamanho das células, espaços intercelular, paredes celulares mais finas e menor desenvolvimento do tecido epidérmico, resultando no alongamento do colmo que culmina no aumento da altura de plantas (Vinayalakshmi *et al.*, 2021). Descobertas semelhantes foram relatadas por diferentes autores (Choudhary *et al.* 2001; Rathore *et al.*, 2014; Wubale e Girma, 2018).

As médias de diâmetro de colmo da primeira soqueira de cana-de-açúcar apresentam aumento positivo na interação do SFT e CF. Podendo ser explicado visto que a aplicação de fertilizante mineral e orgânico elevou à disponibilidade de P, matéria orgânica e os demais nutrientes em quantidades suficientes para estimular os processos do crescimento e desenvolvimento da planta.

Majidano *et al.* (2003) e Mehboob *et al.* (2000) relatam que a aplicação balanceada de P afeta significativamente o diâmetro do colmo da cana-de-açúcar. Bokhtiar *et al.* (2008) afirmam que a associação entre fertilizante mineral e orgânico é muito importante para manter a fertilidade do solo e obter altos rendimentos da cana-de-açúcar.

A primeira soqueira de cana-de-açúcar apresenta resposta positiva aos tratamentos com SFT e CF, promovendo aumento do número de perfilhos. Ocorrendo pela alteração no crescimento e desenvolvimento da planta, uma vez que o P é responsável pela formação de proteínas, divisão celular, fotossíntese, síntese de adenosina trifosfato (ATP), quebra de açúcar, respiração e formação de sacarose, além de favorecer o enraizamento, perfilhamento, rendimento final e produção de açúcar (Caione *et al.*, 2022).

4.4.2 Teores de macro e micronutrientes nas folhas da primeira soqueira da cana-de-açúcar

Houve interação entre diferentes doses de SFR e CF com o teor de N foliar. A aplicação de 240 kg ha⁻¹ de SFT juntamente com 2 t ha⁻¹ de CF aumentou o teor de N foliar da planta (19,39 g kg⁻¹) primeira soqueira de cana-de-açúcar. Raji *et al.* (1996) relatam que a faixa adequada de N foliar na cana-de-açúcar é de 18-25 g kg⁻¹. Assim, os valores dos nutrientes estão acima dos níveis considerados adequados. Ramos *et al.*, (2017) obtiveram teor de N foliar inferior (16,3 g kg⁻¹) na aplicação de 9 t ha⁻¹ de CF.

Vale ressaltar que, é possível que absorção de N pela planta tenha sido favorecida pela presença da CF no sistema de produção da safra anterior no solo. A taxa de mineralização de compostos orgânicos é lenta, permitem a liberação gradual de nutrientes na solução do solo e mantém o equilíbrio de nutrientes para o crescimento saudável das plantas cultivadas (Shaji *et al.*, 2021; Tamás *et al.*, 2020; Menšík *et al.*, 2018).

O nitrogênio é um elemento limitante para as plantas (Ulrike, 2022). A participação do nutriente ocorre em todas as reações enzimáticas nos vegetais. O N absorvido pela planta é na forma de amônia, nitrato ou nitrito, sendo posteriormente convertido a aminoácidos que forma o protoplasma, local de divisão celular e desenvolvimento das plantas (Bassi *et al.*, 2018).

Estudos mostram que o P, atua a transferência de energia e no desenvolvimento de raízes das plantas (Liu, 2021; Lambers, 2022). Quando as plantas têm acesso adequado ao P, podem desenvolver sistemas radiculares mais saudáveis e eficientes, aumentando a demanda por N, levando a maior absorção desse nutriente.

O N e P agem de forma sinérgica, e a combinação adequada de ambos os nutrientes resulta em aumentos na produção, superiores aos obtidos com a aplicação de cada nutriente separadamente (Dai *et al.*, 2024; Zhang *et al.*, 2020).

A interação do SFT e CF influenciou no maior teor de P na primeira soqueira de cana-de-açúcar. O teor foliar de P no ciclo de primeira soqueira foi elevado, com a aplicação conjunta de 8 t ha⁻¹ de CF com a dose de 120 kg ha⁻¹ de SFT, resultando em teor foliar de P de 3,20 g kg⁻¹, estando acima do teor de P considerado adequado Raji *et al.* (1996), 1,2 a 3,0 g kg⁻¹. A disponibilidade de P para as plantas pode ser aumentada pela mistura com adubo mineral e orgânico (Kacprzak e Sobik-Szołtysek, 2022).

Sinha *et al.* (2024) discorrem que, em razão de a permanência do sistema radicular no solo a partir da primeira soqueira da cana-de-açúcar é esperada maior absorção de P pela soca, principalmente com a aplicação de fertilizante orgânico, que tem efeito mais lento solubilidade e maior efeito residual, podendo fornecer mais P à cultura.

O SFT é uma fonte altamente solúvel em água, que garante a liberação do P em curto prazo, fazendo com que a disponibilidade do nutriente diminua ao longo do tempo (Moraes *et al.*, 2017; Chien *et al.*, 2009). Guimarães *et al.* (2016) e Bünemann (2015) afirmam que os fertilizantes orgânicos necessitam ser mineralizados, fazendo com que a disponibilidade inicial para as plantas seja reduzida. Portanto, na utilização da CF em safras consecutivas favoreceu na ciclagem de nutrientes e melhorou a absorção de P pela primeira soqueira de cana-de-açúcar.

As diferentes doses de CF aumentaram de forma exponencial o teor de K foliar na primeira soqueira da cana-de-açúcar. A dose de 11,20 t ha⁻¹ proporcionou teor de K de 13,07 g kg⁻¹, situando na faixa ideal 10-16 g kg⁻¹ na produção da cana-de-açúcar (Santos *et al.*, 2013; Raji *et al.* 1996). Crusciol *et al.* (2020) trabalhando com fertilizante mineral e organomineral como fonte de P e K na primeira soca da cana-de-açúcar, observaram aumento linear no teor de K foliar, sem diferença entre as fontes, obtendo em média 11,40 g kg⁻¹ de K foliar na utilização da dose de 180 kg ha⁻¹ dos adubos.

A adição de adubo orgânico favorece no incremento de níveis de K no solo, que é atribuído à liberação lenta do elemento para as plantas (Lipiec *et al.*, 2021; Basak *et al.*, 2021; You *et al.*, 2020). Esse processo favorece a cana-de-açúcar por ser uma cultura semi-perene, sendo que o processo pode auxiliar na liberação gradual do nutriente e reduzir perdas por lixiviação e escoamento superficial (Campos *et al.*, 2018).

Flores *et al.* (2020) destacam a importância do fornecimento de K na soca de cana-de-açúcar, pois a maior absorção de potássio refletiu em ganhos de produtividade de 7,9%.

O teor de Ca aumentou exponencialmente, com o aumento das doses de SFT e CF. Isso pode estar relacionado a presença de Ca na composição do SFT e da CF. Quanto ao estado nutricional, os valores médios dos teores foliares de Ca em função das doses de SFT e CF obtidos neste estudo, situam-se na faixa classificada como adequada, cujos valores variaram de 1,7 a 4,0 g kg⁻¹ (Moura Filho *et al.*, 2010).

O uso de material orgânico como a CF é uma fonte valiosa de nutrientes para as plantas, trazendo benefícios quando aplicados no solo, como o aumento da capacidade de troca catiônica e ciclagem de nutrientes (Shaji *et al.*, 2021; Xu *et al.*, 2021; Sharma *et al.*, 2019). O Ca um cátion é importante para o desenvolvimento de folhas novas, raízes, colmo e formação do meristema apical.

A primeira soqueira da cana-de-açúcar respondeu de forma positiva ao tratamento com CF para teor de Mg foliar, até a dose de 5,70 t ha⁻¹ de CF. Em geral, os fertilizantes orgânicos tendem a ter um teor de Mg bem equilibrado, tornando-os eficazes na disponibilidade para as plantas. As respostas à CF, no teor de Mg foliar podem ser explicadas fisiologicamente, visto que o elemento é ativador das enzimas PEP-carboxilase, Glutamina Sintetase, quanto as enzimas quinases que contribuem para o processo de assimilação de N e P (Fageria, 2001).

A aplicação de SFT e CF aumentou o teor de S foliar das plantas. Quando aplicado junto ao SFT, a CF ajuda na interação sinérgica do fósforo e enxofre, podendo indiretamente beneficiar a absorção e a utilização de enxofre. Valle *et al.* (2021) relatam que o teor de P estimula a atividade dos microrganismos no solo favorecendo na oxidação de S.

Neste estudo, a interação das doses 240 kg ha⁻¹ de SFT e 2 t ha⁻¹ de CF, obteve o teor foliar de S de 1,95 g kg⁻¹. Ramos *et al.* (2017) utilizando 9,0 t ha⁻¹ cama de frango e adubo organomineral obtiveram o teor médio de S foliar de 1,4 g kg⁻¹. O teor de S obtido nessa dosagem, Segundo Raji *et al.* (1996), estão na faixa ideal, considerada adequada para cana-de-açúcar (1,5 a 3,0 g kg⁻¹).

A falta do S no sistema solo-planta, proporciona redução no aproveitamento do N e reduz a produção (Koprivova *et al.*, 2000). Junto com o N, o S está presente em todas funções e processos fisiológicos na planta, na adsorção aos papéis do DNA e RNA,

inclusive no controle hormonal que está associado com a produção da planta (Koprivova *et al.*, 2000).

Os teores S do solo aumentaram com a mineralização da matéria orgânica, promovendo passagem da forma orgânica para a forma inorgânica, e conseqüentemente, no conteúdo foliar (Tiecher *et al.*, 2012; Bokhtia e Ksakurai, 2005).

O baixo ajuste encontrado para os teores foliares de N, P, S e Fe para algumas doses de SFT em doses de CF e doses de CF nas doses de SFT pode ser pela distribuição heterogênea dos nutrientes ou processo de decomposição da CF. Chen *et al.* (2015) relataram que o tempo, condições de armazenamento e temperatura da cama de frango, afetam a disponibilidade de nutrientes para as plantas, podendo ocorrer variação nutricional no lote.

Os micronutrientes, B, Cu, Fe, Mn e Zn responderam positivamente na interação das doses de SFT e CF. A interação dos nutrientes é fator importante que influencia no rendimento das culturas (Rietra *et al.*, 2017). Ocorrendo quando o fornecimento de um nutriente influencia a absorção e utilização de outro, que é classificado como sinérgico ou aditivo. Estudos mostram que a interação de fertilizante minerais e orgânicos promovem ganhos expressivos na produção das culturas (Crusciol *et al.*, 2020; Borges *et al.*, 2019; Chivenge *et al.*, 2009; Mucheru *et al.*, 2004).

A dose de 199,25 kg ha⁻¹ de SFT com 2 t ha⁻¹ de CF resultou no maior teor de B neste estudo. O Ca presente no SFT e CF pode ter contribuído para mobilidade e absorção do B pelas plantas.

Reeve *et al.* (1944) descobriram no estudo de relações potássio-boro e cálcio-boro na nutrição de plantas que uma concentração ideal de Ca no meio de cultura favorece na disponibilidade de B nas plantas. Longo e Peng (2023) discorrem que, níveis adequados de Ca favorecem no desempenho do B nas plantas. Os mesmos autores citam que a deficiência de B pode alterar a concentração intracelular de Ca²⁺ e afetar a expressão de genes relacionados à transdução de sinal do elemento.

O B atua no metabolismo de carboidratos, na translocação e no acúmulo de açúcares, além de estar diretamente presente no processo da divisão, maturação e diferenciação celular (Dechen *et al.*, 2018). A ação de microrganismos na matéria orgânica é responsável pela liberação de boro, um dos principais micronutriente encontrados em composto orgânico (Berger e Pratt, 1963). Os elevados teores de matéria orgânica na torta da CF potencializaram a disponibilidade do elemento para as plantas.

O Cu, Fe, Mn e Zn são micronutrientes essenciais frequentemente incorporados em fertilizantes para complementar os níveis naturais do solo, visando elevar o rendimento das culturas (Rutherford *et al.*, 2003; Han *et al.*, 2000; Krauskopf, 1972). Em níveis elevados no solo, esses micronutrientes inibem o crescimento das plantas (Bowen, 1966), causam estresse oxidativo, alteram a anatomia das raízes, inibem a cariocinese e a citocinese e reduzem a translocação de nutrientes (Anjum *et al.*, 2015).

O teor de Cu foliar foi maior na aplicação de 60 kg ha⁻¹ de SFT com 3,91 t ha⁻¹ de CF. O cobre pode influenciar a absorção de ferro pelas plantas. Devido à natureza calcofílica do Cu, sua presença na matéria orgânica da cama de frango está relacionada à afinidade com grupos amino e ciano presentes na estrutura da matéria orgânica (Mehlhorn *et al.*, 2018; Karlsson *et al.*, 2006).

A concentração de Fe das plantas de cana-de-açúcar aumentou exponencialmente apenas com a interação do SFT e CF. A disponibilidade de ferro da cama de frango para a primeira soqueira da cana-de-açúcar, provavelmente ocorreu dividindo a degradação dos óxidos de ferro proveniente da aplicação de 8 t ha⁻¹ de CF, suprimindo a necessidade nutricional (Almeida Junior *et al.*, 2011; Nunes Júnior, 2008). Vale ressaltar que a grande abundância na extração do micronutriente pela cana-de-açúcar pela quantidade elevada do elemento presente em solos brasileiros (Mellis e Quaggio; 2015).

O Mn, respondeu positivamente na interação das doses de CF e SFT, sendo a dose de 3,95 t ha⁻¹ em dose 60 kg ha⁻¹ obtendo concentração de Mn de 89,82 mg kg⁻¹. Van Der Watt *et al.*, (1994) demonstra correlações significativas na extração de Cu, Mn e Zn do solo sob aplicação da cama de frango. Os mesmos autores ressaltam que com aplicação do composto orgânico, melhorou o pH do solo e sinalizou que aplicações acima de 6 t ha⁻¹ ano de cama de frango, podem acumular nível tóxicos dos elementos no solo.

O mesmo fato ocorreu com o Zn, sendo a dose de 8 t ha⁻¹ de CF na dose de 0 kg ha⁻¹ de SFT, apresentando a concentração de 24,41 mg kg⁻¹ do elemento. A CF eleva o teor de matéria orgânica do solo, amonifica o nitrogênio, valor de pH, teor de P, K, Cu, Mn e Fe e Zn disponíveis para as plantas (Kacprzak *et al.*, 2023). A presença do N na CF pode ter influenciado na absorção do Zn pela primeira soca da cana-de-açúcar.

Malavolta e Moraes (2007) relatam que a presença de N pode proporcionar aumento na absorção de Zn. Ocorrendo pela acidificação do solo com aplicação de N e conseqüentemente maior disponibilidade de Zn no solo.

Como é conhecido pela literatura o processo de antagonismo entre K, Ca e Mg (Marschner, 2012), NH₄⁺ e K (Conskun *et al.*, 2015), P e Zn (Marschner, 2012; Ova *et*

al., 2015; Aboyeji, 2020; Zhang *et al.*, 2020) fósforo e enxofre (Essel *et al.*, 2021), fósforo para zinco (Essel *et al.*, 2021 ; Philips, 2015) ferro para manganês (Sait, 2015; Essel *et al.*, 2021; Rietra; 2017), as doses de SFT e CF utilizadas no presente estudo não limitaram o processo de absorção dos macro e micronutrientes pela segunda soqueira da cana-de-açúcar.

As doses de SFT e CF favoreceram nos teores foliar de macro e micronutrientes na primeira soqueira. A eficiência da aplicação das fontes testadas permitindo que as culturas mantivessem o estado nutricional no nível adequado. Além disso, como a cana-de-açúcar foi propagada de forma vegetativa na presença das doses de SFT e CF, acredita-se que na mineralização natural da CF aplicada no plantio da cana-de-açúcar, favoreceu na disponibilidade dos nutrientes para as plantas da primeira soqueira.

4.4.3 Qualidades tecnológica da cana-de-açúcar

O teor de ATR aumentou de forma exponencial quando a dose de CF foi de 2 t ha^{-1} em função do incremento da dose de 180 kg ha^{-1} de SFT, indicado efeito positivo na aplicação dos adubos minerais e orgânicos. O ATR obtido nessa dose foi $165,22 \text{ kg t ha}^{-1}$. Esse acréscimo da produção de ART pode ser pelo fornecimento de P pelas fontes minerais e orgânicas.

Oliveira *et al.* (2022) obtiveram resposta positiva nos altos níveis dos parâmetros de qualidade tecnológica na primeira soqueira de cana-de-açúcar por causa do melhor abastecimento do sistema com P. Os mesmos autores obtiveram de ATR máximo de $131,47 \text{ kg t ha}^{-1}$, valor inferior quando comparado ao obtido neste estudo. Albuquerque *et al.* (2016) atribuíram aumento no ATR à aplicação de P.

Bokhtiar *et al.* (2008) relatam que a interação de fonte fosfatada mineral e orgânica podem aumentar o perfilhamento da cana-de-açúcar em até 191%, com consequentes aumentos na qualidade tecnológica da planta.

Neste estudo, a interação das doses SFT e CF apresentaram maiores rendimentos de açúcar (RAR). A dose de 6 t ha^{-1} de CF com $127,75 \text{ kg ha}^{-1}$ obteve RAR de $27,94 \text{ t ha}^{-1}$. Esses resultados indicam resposta positiva à adição de P. Caione *et al.*, (2015) discorrem que a associação de fontes inorgânicas e minerais de P aumenta a disponibilidade de P no solo, levando ao aumento na produção de açúcar.

Korndörfer e Alcarde (1992), a utilização de fósforo na primeira soqueira da cana-de-açúcar aumenta o perfilhamento da planta que proporciona rendimentos favoráveis do TCH e de RAR. A aplicação de adubo mineral e composto orgânico como fonte de P,

apresenta interação positiva, podendo ser atribuído a maior disponibilidade de P como consequência da menor fixação de P nas plantas (Singh *et al.*, 1988)

Boschiero *et al.* (2020) discorrem que a maior produtividade de açúcar em alguns tratamentos ocorreu pela maior produtividade de colmos. Fernandes (2003) discorre que o ATR é considerado no cálculo da produtividade de açúcar.

Houve interação entre as doses de SFT e CF para o rendimento de álcool (RA). Em que o RA aumentou exponencialmente em função da dose de 4,55 t ha⁻¹ de CF juntamente com 120 kg ha⁻¹ de SFT, apresentando valor máximo de 22,04 m³ ha⁻¹. Silva *et al.* (2020) relatam que o aumento no rendimento de álcool é condicionado ao aumento do rendimento de açúcar e, portanto, correspondendo a mesma proporção, ou seja, há uma correlação positiva entre esses parâmetros.

Lavanholi (2010) relata que, do ponto de vista industrial, maior quantidade de TCH, por sua vez, fornece grande potencial energético para a produção de álcool. Neste estudo, as variáveis ATR, RAR e RA foram extremamente relevantes porque correlacionaram entre si, corroborando com o rendimento final da cultura.

4.4.4 TCH da primeira soqueira da cana-de-açúcar

A resposta positiva do TCH à aplicação de doses de SFT e CF na primeira soqueira da cana-açúcar, destaca o potencial para adubação fosfatada. O TCH aumentou exponencialmente em função das doses de SFT e CF. Houve incremento positivo de 2,18% no TCH na utilização da CF.

A CF é um material orgânico com alta concentração de P, que pode aumentar os níveis de P e matéria orgânica do solo (Unagwu, 2019; Codling *et al.*, 2008). A aplicação da CF pode ter influenciado na melhoria da estrutura do solo, obtendo melhor desenvolvimento do sistema radicular da cana, favorecendo na absorção de P, podendo ter contribuído para o aumento significativo do TCH da primeira soqueira cana-de-açúcar.

Simões *et al.* (2018) observaram aumento na produtividade de 16,49% na primeira soca da cana-de-açúcar em relação a cana-planta, por causa do manejo nutricional adequado pós-colheita. Oliveira Junior *et al.* (2023) obteve TCH de 140,83 t ha⁻¹ na aplicação de até 4,8 t ha⁻¹ de CF latossolo vermelho eutrófico. Esse valor é inferior quanto o resultado obtido neste estudo (TCH = 167,69 t ha⁻¹ na aplicação de 4,67 t ha⁻¹ de CF).

Sinha *et al.* (2024) na utilização de biofertilizantes na primeira soqueira da cana-de-açúcar, obtiveram TCH de 79,6 t ha⁻¹. O aumento da produtividade na segunda-soqueira da cana-de-açúcar pode ser explicado pelas características genéticas do genótipo

IACSP95-5094 de aumento da rebrota a partir do primeiro corte (Rossett *et al.*, 2022 e Tischler *et al.*, 2021).

No geral, a utilização dos tratamentos elevou a produtividade da primeira soqueira da cana-de-açúcar. A CF é uma alternativa viável para o fornecimento de P. Em comparação ao SFT, a CF resulta num fornecimento de P mais prolongado, favorecendo a nutrição, qualidade industrial e na produtividade cana-de-açúcar através da reciclagem de macro e micronutrientes, especialmente o P. Assim, pode-se supor que os efeitos residuais da CF aplicada à cana-planta aumentam a eficiência do uso de nutrientes pela primeira-soqueira da cana-de-açúcar.

4.5 Conclusões

O uso do SFT e CF na primeira soqueira de cana-de-açúcar, promove o crescimento das plantas.

Os fertilizantes minerais e orgânicos proporcionaram respostas positivas na absorção de macro e micronutrientes pela primeira soqueira de cana-de-açúcar.

A aplicação de 120 kg ha⁻¹ de SFT associado a 8 t ha⁻¹ de CF, aumentou o teor foliar de P.

A CF apresenta grande potencial para suplementar o P requerido pela primeira soqueira de cana-de-açúcar.

A eficácia da adubação conjunta de SFT e CF resultaram em ótimos rendimento de açúcar e álcool.

A aplicação até 4,67 t ha⁻¹ de cama de frango promoveu incrementos de produtividade da primeira soqueira de cana-de-açúcar.

4.6 Referências

ABIEC – Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de carnes. Beef Report 2023, Perfil da pecuária no Brasil. 2023, 110.

Aboyaji, C.M.; Dunsin, O.; Adekiya, A.O.; Suleiman, K.O.; Chinedum, C.; Okunlola, F.O.; Joseph, A.; Ejue, S.W.; Adesola, O.O.; Olofintoye, T.A. J.; Owolabi, I.O. Synergistic and antagonistic effects of soil applied P and Zn fertilizers on the performance, minerals and heavy metal composition of groundnut. *Open Agriculture*. 2020. 5, 1-9. <https://doi.org/10.1515/opag-2020-0002>

Albuquerque, A.W.; Sá, L.A.d.; Rodrigues, W.A.R.; Moura, A.B.; Oliveira, M.S.d. Growth and Yield of Sugarcane as a Function of Phosphorus Doses and Forms of Application. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.* 2016. 20, 29–35. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n1p29-35>

Almeida Júnior, A.B.; Nascimento, C.W.A.; Sobral, M.F.; Silva, F.B.V.; Gomes, W.A. Fertilidade do solo e absorção de nutrientes em cana-de-açúcar fertilizada com torta de filtro. *Rev. Brasil. Eng. Agrícola. Ambiente.* **2011.** 5, 1004–1013. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011001000003>

Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Moraes Gonçalves, J.L.d.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift.* **2013.** 22, 711-728. [10.1127/0941-2948/2013/0507](https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507)

Alves, D.K.M.; Teixeira, M.B.; Cunha, F.N.; Cabral Filho, F.R.; Cunha, G.N.; Andrade, C.L.L.d. Grain Yield of Maize Crops under Nitrogen Fertigation Using Wastewater from Swine and Fish Farming. *Agronomy* **2023.** 13, 1834. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071834>

Anjum, N.A.; Singh, H.P.; Khan, M.; Masood, A.; Por, T.S.; Negi, A.; Batish, D.R.; Khan, N.A.; Duarte, A.C.; Pereira, E. Too much is bad--an appraisal of phytotoxicity of elevated plant-beneficial heavy metal ions. *Environ Sci Pollut Res Int.* **2015.** 22, 3361–3382. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3849-9>

Basak, B.B.; Sarkar, B.; Naidu, R. Liberação ambientalmente segura de potássio e micronutrientes disponíveis para plantas a partir de pó mineral de rocha modificado organicamente. *Environ Geochem Health.* **2021.** 43, 3273–3286. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00677-1>

Bassi, D.; Menossi, M.; Mattiello, L. Nitrogen supply influences photosynthesis establishment along the sugarcane leaf. *Sci Rep.* **2018.** 8, 2327. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20653-1>

Berger, K.C.; Pratt, P. F. Avanços na fertilização secundária e com micronutrientes. In: Mcvickar, M.H.; Bridger, G.L.; Nelson, L.B. (eds) Tecnologia e uso de fertilizantes. *Sociedade de Ciência do Solo da América.* **1963.** 287–340.

Bokhtiar, S. M.; Paul, G.C.; Alam, K.M. Effects of Organic and Inorganic Fertilizer on Growth, Yield, and Juice Quality and Residual Effects on Ratoon Crops of Sugarcane. *Journal of Plant Nutrition.* **2008.** 31, 1832-1843. <https://doi.org/10.1080/01904160802325545>

Bokhtiar, S. M.; Sakurai, K. Uso integrado de adubo orgânico e fertilizante químico no crescimento, rendimento e qualidade da cana-de-açúcar em solos de várzea do alto rio Ganges de Bangladesh. *Communications in Soil Science and Plant Analysis.* **2005.** 36, 1823-1837. <https://doi.org/10.1081/CSS-200062460>

Borges, B.M. M.N.; Abdala, D. B.; Souza, M.F. de; Viglio, L.M.; Coelho, M.J.A.; Pavinato, P.S.; Franco, H.C.J. Organomineral phosphate fertilizer from sugarcane byproduct and its effects on soil phosphorus availability and sugarcane yield. *Geoderma.* **2019.** 339, 20. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.12.036>

- Bortolini, J.; Tavares, M. H. F.; Freitag, D. T.; Kuczman, O. Removal of solids and chemical oxygen demand in poultry litter anaerobic digestion with different inocula. *Revista Ambiente & Água*. **2020**. 15, 24-69. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2469>
- Boschiero, B.N.; Mariano, E.; Torres-Dorante, L.O.; Sattolo, T.M.S.; Otto, R.; Garcia, P.L.; Dias, C.T.S.; CO, P. Nitrogen fertilizer effects on sugarcane growth, nutritional status, and productivity in tropical acid soils. *Nutr Cycl Agroecosyst*. **2020**. 117, 367-382. <https://doi.org/10.1007/s10705-020-10074-w>
- Bowen, H.J.M. Trace Elements in Biochemistry. *Academic Press*. **1966**. 241.
- Bünemann, E.K. Assessment of gross and net mineralization rates of soil organic phosphorus – A review. *Soil Biology and Biochemistry*. **2015**. 89, 82-98. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.06.026>.
- Caione, G.; Fernandes, F.M.; Lange, A. Efeito residual de fontes de fósforo nos atributos químicos do solo, nutrição e produtividade de biomassa da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. **2022**. 8, 189-196. <https://doi.org/10.5039/agraria.v8i2a2016>
- Caione, R.G.; Mello Prado, C.N.S. De; Campos, L. Rosatto Moda, R.; De Lima Vasconcelos, J.M.; Pizauro Júnior. Resposta da cana-de-açúcar em um Argissolo Vermelho às doses de fósforo, fontes de fósforo e torta de filtro. *The Scientific World Journal*. **2015**. 1–10. <https://doi.org/10.1155/2015/405970>
- Caldas, C. Manual de análises selecionadas para indústrias sucroalcooleiras. Maceió: Sindicato da Indústria e do Alcool do Estado de Alagoas. **1998**. 424.
- Campos, M.d.; Antonangelo, J.A.; Van Der Zee, S.E.; Alleoni, L.R.F. Grau de saturação de fosfato em solos tropicais altamente intemperizados. *Agr. Gestão de Água*. **2018**. 206, 135–146. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.05.001>
- Chen, Z.; Wang, H.; Ionita, C.; Luo, F.; Jiang, X. Effects of Chicken Litter Storage Time and Ammonia Content on Thermal Resistance of Desiccation-Adapted *Salmonella* spp. *Appl Environ Microbiol*. **2015**. 81. <https://doi.org/10.1128/AEM.01876-15>
- Chien, S.H.; Prochnow, L.I.; Cantarella, H. Chapter 8 recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. *Advances in Agronomy*. **2009**. 102, 267-322. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(09\)01008-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(09)01008-6)
- Chivenge, P.; Vanlauwe, B.; Gentio, R.; Wangechi, H.; Mugendi, D.; Van Kessel, C.; Seis, J. Organic and mineral input management to enhance crop productivity in Central Kenya. *Agronomy Journal*. **2009**. 101, 1266–1275. <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0188x>
- Choudhary C.N.; Sinha, U.P. Effect of concentrated organic manure, nitrogen and sulphur on the productivity and economics of sugarcane (*Saccharum officinarum*). *Indian Journal of Agronomy*. **2001**. 46, 354-360.

Codling, E.E.; Chaney, R.L.; Mulchi, C.L. Efeitos das práticas de manejo de cama de frango nas concentrações de fósforo, cobre, zinco, manganês e arsênico em solos da planície costeira de Maryland. *Comunicações em Ciência do Solo e Análise de Plantas*. **2008**. 39, 1193–1205. <https://doi.org/10.1080/00103620801925901>

CONSECANA. Manual de instruções. Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar, Álcool do Estado de São Paulo. 6.ed. Piracicaba: CONSECANA, **2015**. 79.
Conskun, D.; Britto, D.T.; Kronzucker, H. The nitrogen–potassium intersection: membranes, metabolism, and mechanism. *Plant, Cell and Environment*. **2015**. 40, 2029–2041. <https://doi.org/10.1111/pce.12671>

Crusciol, C.A.C., Campos, M.d., Martello, J.M.; Alves, C.J.A.; Nascimento, C.A.C.; Pereira, J.C.d.R. Organomineral Fertilizer as Source of P and K for Sugarcane. *Sci Rep*. **2020**. 10, 5398. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62315-1>
Crusciol, C.A.C.; Campos, M.d.; Martello, J.M. et al. Fertilizante Organomineral como Fonte de P e K para Cana-de-Açúcar. *Sci*. **2020**. 10, 5398. <https://doi-org.ez1.periodicos.capes.gov.br/10.1038/s41598-020-62315-1>

Crusciol, C.A.C.; Campos, M.d.; Martello, J.M.; Alves, C.J.A.; Nascimento, C.A.C.; Rereira, J.C.d.R.; Cantarella, H. Organomineral Fertilizer as Source of P and K for Sugarcane. *Sci Rep*. **2020**. 10, 5398. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62315-1>

Dai, C.; Lin, Y.; Guan, J.; Meng, T.; Liu, Y.; Cui, X.; Guo, L. Yang, Y. Mechanism analysis: Nitrogen and potassium synergy regulate nitrogen distribution in photosynthetic system to enhance Panax notoginseng resistance to light stress. *Industrial Crops and Products*. **2024**. 210, 118111. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118111>.

Dechen, A.R.; Nachtigall, G.R.; Carmello, Q.A.C.; Santos, L.A.; Sperandio, M.V.L. Micronutrientes. In: Fernandes, M.S.; Souza, S.R.; Santos, L.A. (Ed.). *Nutrição Mineral de Plantas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*. **2018**. 491-562.

Dim, C.E.; Iwuchukwu, J.C.; Udoyce, C.E. Improving Litter Quality of Broiler Chickens Using Dietary Bentonite Technology. *Animal Nutrition and Feed Technology*. **2021**. 21, 585-594. <https://doi.org/10.5958/0974-181X.2021.00049.4>

Essel, R.; Abaidoo, R.C.; Opoku, A.; Ewusi-Mensah, N. Mechanisms underlying nutrient interaction of compost and mineral fertilizer application in maize (*Zea mays* L.) cropping system in Ghana. *Frontiers in Soil Science*. **2021**. 1, 630851. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2021.630851>

Fageria, V. D. Nutrient interactions in crop plants. *Journal of Plant Nutrition*. **2001**. 24, 1269-1290. <https://doi.org/10.1081/PLN-100106981>

Fernandes, AC. Cálculos na agroindústria de cana-de-açúcar. 2.ed (Piracicaba: STAB). **2003**. 240.

Ferreira, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciênc. Agrotec*. **2011**. 35, 1039-1042.

Flores, R.A.; Andrade, A.F. de; Casaroli, D.; Quirino, D.T.; Abdala, K. de O.; Martins, C.; Evangelista, A.W.P. Adubação potássica na produção de soca de cana-de-açúcar cultivada em região tropical. *Comunicações em Ciência do Solo e Análise de Plantas*. **2020**. 51, 896–910. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1744622>

Garcês, A.P.J.T.; Afonso, S. M. S.; Chilundo, A.; Jairoce, C.T.S. Evaluation of different litter materials for broiler production in a hot and humid environment: 2. Productive performance and carcass characteristics. *Tropical Animal Health and Production*. **2017**. 49, 369–374. <https://doi.org/10.1007/s11250-016-1202-7>

Guimarães, G.; Lana, R.d.P.; Rei, R.d.S.; Veloso, C. M.; Sousa, M. R.d.M.; Rodrigues, R.C.; Campos, S. de A. Produção de cana-de-açúcar adubada com cama de frango. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*. **2016**. 17, 617–625. <https://doi.org/10.1590/S1519-99402016000400006>

Guimarães, G.; Lana, R.d.P.; Rei, R.d.S.; Veloso, C.M.; Sousa, M.R.d.M.; Rodrigues, R. C.; Campos, S.d.A. Produção de cana-de-açúcar adubada com cama de frango. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*. **2016**. 17, 617–625. <https://doi.org/10.1590/S1519-99402016000400006>

Han, F.; Kingery, W.; Selim, H.; Gerard, P. Accumulation of heavy metals in a long-term poultry waste-amended soil. *Soil Sci*. **2000**. 165, 260–268. <https://doi.org/10.1097/00010694-200003000-00008>

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Em 2023, abate de bovinos cresce e o de suínos e frangos atinge recordes. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/39452-em-2023-abate-de-bovinos-cresce-e-o-de-suinos-e-frangos-atingem-recordes>. Acesso em: 06 de abril de 2024.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos. Relatório de pesquisa. Brasília, Brasil. **2012**.

Kacprzak, M.; Malińska, K.; Grosser, A.; Sobik-Szołtysek, J.; Wystalska, K.; Drózd, D; Jasińska, A.; Meers, E. Cycles of carbon, nitrogen and phosphorus in poultry manure management technologies – environmental aspects. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. **2023**. 8, 914-938. <https://doi.org/10.1080/10643389.2022.2096983>

Kacprzak, M.; Sobik-Szołtysek, J. The opoka-rock in N and P of poultry manure management according to circular economy. *Journal of Environmental Management*. **2022**. 115262. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115262>

Karlsson, T.; Persson, P.; Skyllberg, U.; Complexation of Copper (II) in Organic Soils and in Dissolved Organic Matter – EXAFS Evidence for Chelate Ring Structures. *Environmental Science & Technology*. **2006**. 40, 2623-2628. <https://doi.org/10.1021/es052211f>

Koprivova A.; Suter, M.; Den Camp, R.O.; Brunold, C.; Kopriva, S. Regulation of sulfate assimilation by nitrogen in Arabidopsis. *Plant Physiol.* **2000.** 122, 737-46. doi: <https://doi.org/10.1104/pp.122.3.737>

Korndörfer, G.H.; Alcarde, J.C. Acumulo e teor de fósforo em folhas de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciências do Solo.* **1992.** 16, 217–222.

Krauskopf, K.B. Geochemistry of micronutrients. In *Micronutrients in Agriculture*; Mortvedt, J.J., Giordano, P.M., Lindsay, W.L. *Soil Science Society of America.* **1972.** 7–40.

Lambers, H. Phosphorus Acquisition and Utilization in Plants. *Annual Review of Plant Biology.* **2022.** 73, 17-42. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-102720-125738>

Lavanholi, M.G.D.P. Qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima para produção de açúcar e álcool. In: Dinardo-Miranda, L. L.; Vasconcelos, A.S.M.; Landell, M.G.A. (ed.). *Cana-de-açúcar.* Campinas: IAC. **2010.** 697-722.

Lipiec, J.; Usowicz, B.; Kłopotek, J.; Turski, M.; Fraç, M. Effects of Application of Recycled Chicken Manure and Spent Mushroom Substrate on Organic Matter, Acidity, and Hydraulic Properties of Sandy Soils. *Materials.* **2021.** 14, 4036. <https://doi.org/10.3390/ma14144036>

Liu, D. Root developmental responses to phosphorus nutrition. *Journal of Integrative Plant Biology.* **2021.** 63, 1065-1090. <https://doi.org/10.1111/jipb.13090>

Longo, Y.; Peng, J. Interaction between Boron and Other Elements in Plants. *Genes.* **2023.** 14, 130. <https://doi.org/10.3390/genes14010130>

Majidano, H.I.; Minhas, Y.J.; Jarwar, A.D.; Tunio, S.D.; Puno, H.K. Effect of potassium levels and method of application on sugarcane yield. *Pak. Sug.* **2003.** 3, 17–19.

Malavolta, E.; Moraes, M.F. Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas. In: Yamada, T.; Abdalla, S.R.S.; Vitti, G.C. (Org.). *Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira.* **2007.** 189-238.

Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A.D. *Avaliação do Estado Nutricional das Plantas: Princípios e Aplicações.* Potafos: Piracicaba, Brasil, 1997, p. 319.

Marschner, P. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. *Academic Press is an imprint of Elsevier.* **2012.** 3 ed.

Marschner, P. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd, *Academic Press: Cambridge.* **2012.** 649.

Mehboob, A.; Ali, F.G.; Saeed, M.; Afghan, S. Effect of moisture regime and fertilizer levels on yield and yield parameters of spring sugarcane. *Pak. Sug.* **2000.** 15, 2–6.

Mehlhorn, J.; Besold, J.; Pacheco, J.S.L.; Gustafsson, J.P.; Kretschmar, R.; Planer-Friedrich, B. Copper Mobilization and Immobilization along an Organic Matter and

Redox Gradient—Insights from a Mofette Site. *Environmental Science & Technology*. **2018**. 52, 13698-13707. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02668>

Mellis, E. V.; Quaggio, J. A. Uso de micronutrientes em cana de açúcar. *International Plant Nutrition Institute – Brasil. Informações Agronômicas*. **2015**. 149. Acesso em 14 de maio de 2024. Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/1330D7F155B5CA3E83257E200064A994/\\$FILE/Jornal-149.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/1330D7F155B5CA3E83257E200064A994/$FILE/Jornal-149.pdf)

Menšík, L., Hlisnikovský, L., Pospíšilová, L. *et al.* The effect of application of organic manures and mineral fertilizers on the state of soil organic matter and nutrients in the long-term field experiment. *J Soils Sediments*. **2018**. 18, 2813–2822. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-1933-3>

Moraes, E. R.d.; Silva, R.V.d.; Silva, V.L. N.d.; Peixoto, J.V.M.; Lima, B.V.d.; Martins, G.A. Melhoria das características tecnológica da cana-de-açúcar com adição de adubação organomineral de lodo de esgoto e bioestimulante. *Contribuciones a LAS Ciencias Sociales*, **2023**. 16, 11956–11974. <https://doi.org/10.55905/revconv.16n.8-172>

Moraes, E.R.; Mageste, J.G.; Lana, R. M. Q.; Da Silva, R.V.; Camargo, R. Cana-de-açúcar: Fertilizantes Organominerais e Bioestimulantes. In: *Cana-de-Açúcar-Tecnologia e Pesquisa. IntechOpen*. **2017**. 13, 90-101. <https://doi-org.ez1.periodicos.capes.gov.br/10.5772/intechopen.71493>

Moraes, E.R.; Mageste, J.G.; Lana, R.M.Q.; Da Silva, R.V.; Camargo, R. Cana-de-açúcar: Fertilizantes Organominerais e Bioestimulantes. In: *Cana-de-Açúcar-Tecnologia e Pesquisa. IntechOpen*. **2017**. 13, 90-101. <https://doi-org.ez1.periodicos.capes.gov.br/10.5772/intechopen.71493>

Moura Filho, G.; Silva, L.C.; Moura, A. B.; Melo Filho, J. B.; Guerra, A. M.; Guimarães, D.H.V.; Pereira, R.C.S. Determinação de teores ótimos de nutrientes em cana-de-açúcar na destilaria Japungu, PB, usando o método da chance matemática (Chm). In: *Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de plantas*. **2010**. 29.

Mucheru et al. Mucheru M, Mugendi D, Micheni A, Mugwe J, Kung'u J, Otor S, Gitari J. Managing nutrient cycles to sustain soil fertility in Sub-Saharan Africa. Improved food production by use of soil fertility amendment strategies in the central highlands of Kenya. **2004**. 583.

Nass, L.L.; Pereira, P. A. A.; Ellis, D. Biocombustíveis no Brasil: Uma Visão Geral. *Colheita Ciência*. **2007**. 47, 2228–2237. <https://doi-org.ez1.periodicos.capes.gov.br/10.2135/cropsci2007.03.0166>

Nunes Junior, D. Torta de Filtro: de resíduo a produto nobre. *Idea News*. **2008**. 8, 22-30.

Oliveira Junior, A.C.d.; Santos, L.N.S.d.; Reis, M.N.O.; Vitorino, L.C.; Bessa, L.A.; Teixeira, M.B.; Soares, F.A.L. Effect of Mineral and Organic Nitrogen Sources on Vegetative Development, Nutrition, and Yield of Sugarcane. *Agronomy* **2023**. 13, 1627. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061627>

Oliveira, C.L.B.d.; Cassimiro, J.B.; Lira, M.V.d.S.; Boni, A.d.S.; Donato, N.d.L.; Reis, R.d.A.J.; Heinrichs, R. Sugarcane Ratoon Yield and Soil Phosphorus Availability in Response to Enhanced Efficiency Phosphate Fertilizer. *Agronomia*. **2022**. 12, 2817. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112817>

Oliveira, L. C. A.; Carneiro, M. A.; Litter, F. A.; Carvalho, M. A. C.; Yamashita, O. M.; Caione, G. Frações de fósforo em função do uso de fertilizantes fosfatados em distintas classes de solo. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*. **2021**. 14, 4. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2021v14n4e8921>

Oliveira, M.W.; Macêdo, G.A.R.; Martins, J.A.; Silva, V.S.G.; Oliveira, A. B. Mineral Nutrition and Fertilization of Sugarcane. In: Alexandre Bosco de Oliveira. (Org.). Sugarcane - Technology and Research. 1ed. Londres: INTECH - Open Science. **2018**. 1, 169-191.

Oliveira, M.W.de; Macêdo, G.A.R.; Martins, J.A.; Silva, V.S.G.da; Oliveira, A.B.de. Mineral nutrition and fertilization of sugarcane. In: Sugarcane - technology and research. *IntechOpen*. **2018**. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72300>

Ova, E.A.; Kutman, U.B.; Ozturk, L.; Cakmak, I. High phosphorus supply reduced zinc concentration of wheat in native soil but not in autoclaved soil or nutrient solution. *Plant and Soil*. **2015**. 393, 147–162. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2483-8>

Philips, L. Managing soil mineral ratios. *Farmer's Weekly*. **2015**. Acesso em: 13 de junho de 2024. Disponível em: <https://www.farmersweekly.co.za/crops/field-crops/managing-soil-mineral-ratios>

Pinto, L. A. S. R.; Beutler, S. J.; Assunção, S. A.; Rossi, C. Q.; Guareschi, R. F.; Zandoná, S. R.; Santos, O. A. Q. Extração e quantificação das frações de fósforo orgânico no solo. *Brazilian Journal of Development*, **2020**. 6, 34260-34278. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n6-102>

Rajj, B.V. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, **2011**. 420.

Rajj, B.V.; Andrade, J.C.d.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. *Instituto Agrônomico*. **2001**. 285.

Rajj, B.V.; Cantarella H, Rajj B.V.; Cantarella, H.; Quaggio, J.; Furlani, A. Outras culturas industriais. In: Rajj B van et al. (coord.) Recomendações de adubação e cálculo para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomico & Fundação IAC. **1996**.

Rajj, B.V.; Cantarella, H. Quaggio, J. A. Furlani, A. M. C. Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo. **1997**.

Ramos, L. A.; Lana, R. M. Q.; Korndorfer, G. H.; Silva, A.A. Effect of organo-mineral fertilizer and poultry litter waste on sugarcane yield and some plant and soil chemical properties. *African Journal of Agricultural Research*. **2017**. 12, 20-27. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11024>

Reeve, E.; Shive, J.W. Potassium-boron and calcium-boron relationships in plant nutrition. *Soil Sci.* **1944.** 57, 1–14.

Rathore A.K.; Singh, H.; Jain, R. Growth, yield and quality of sugarcane (*Saccharum* spp. Hybrid complex) as influenced by integrated nutrient management and genotypes. *The Bioscan.* **2014.** 9, 727- 730.

Rietra, R.P.J.J.; Heinen, M.; Dimkpa, C.O.; Bindraban, P.S. Effects of Nutrient Antagonism and Synergism on Yield and Fertilizer Use Efficiency. *Communications in Soil Science and Plant Analysis.* **2017.** 48, 1895–1920. <https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1407429>

Rossetto, R.; Ramos, N.P.; Matos Pires, R.C.de; Xavier, M.A.; Cantarella, H.; Andrade Landell, M.G.de. Sustainability in Sugarcane Supply Chain in Brazil: Issues and Way Forward. *Sugar Tech.* **2022.** 24, 941–966. <https://doi.org/10.1007/s12355-022-01170-y>

Rutherford, D.W.; Bednar, A.J.; Garbarino, J.R.; Needham, R.; Staver, K.W.; Wershaw, R.L. Environmental fate of roxarsone in poultry litter. Part II. Mobility of arsenic in soils amended with poultry litter. *Environ. Sci. Technol.* **2003.** 37, 1515–1520. <https://doi.org/10.1021/es026222+>

Sait, G. Six secrets to soil test success (Part 2). Nutrition Matters. **2015.** [14 May 2024]. <http://blog.nutri-tech.com.au/six-secrets-to-soil-test-success-2/>

Santana, R.S.; Mauad, M.; De Medeiros, E.S.; Silva, P.V.; Mussury Franco Silva, R.M.; Goneli, A.L.D. Acúmulo de matéria seca e absorção de macronutrientes em variedades de cana-de-açúcar. *Jornal de Nutrição Vegetal.* **2023.** 46, 3385–3401. <https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2205519>

Santos, D. H.; Silva, M. de A.; Tiritan, C. S.; Foloni, J. S. S.; Echer, F. R. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.* **2011.** 15, 443–449. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000500002>

Santos, E.F.D.; Donha, R.M.A.; Araújo, C.M.M.D.; Junior, J.L.; Camacho, M.A. Normal nutrient ranges for sugarcane by the methods ChM, DRIS and CND and critical level by reduced normal distribution. *Rev. Brás. Ci. Solo.* **2013.** 37, 1651–1658. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000600021>

Santos, H.G.d.; Jacomine, P.K.T.; Anjos, L.H.C.d.; Oliveira, V. A. de; Lumbreras, J.F.; Coelho, M.R.; Almeida, J.A.d.; Araujo Filho, J.C.d.; Oliveira, J.B.d.; Cunha, T.J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. *Embrapa.* **2018.** 356.

Shaji, H.; Chandran, V.; Mathew, L. Organic fertilizers as a route to controlled release of nutrients. In: Controlled release fertilizers for sustainable agriculture. *Academic Press.* **2021.** 231-245. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819555-0.00013-3>

Sharma, B.; Vaish, B.; Monika; Singh, U. K.; Singh, P.; Singh, R.P. Recycling of Organic Wastes in Agriculture: An Environmental Perspective. *Int J Environ Res.* **2019.** 13, 409–429. <https://doi.org/10.1007/s41742-019-00175-y>

Silva, E.M.P.d.; Andrade Júnior, A.S.d.; Bastos, E.A.; Ribeiro, V.Q. Performance agroindustrial de cana-de-açúcar em diferentes regimes hídricos. *Irriga.* **2020.** 25, 449-464. <https://doi.org/10.15809/irriga.2020v25n3p449-464>

Silva, F.C.d. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. *Embrapa Informação Tecnológica.* **2009.** 627.

Simões, W.L.; Calgato, M.; Guimarães, M.J.M.; Oliverira, A.M.; Pinheiro, M.P.M.A. Sugarcane crops wit controlled water deficit in the sub-middle São Francisco Valley, Brazil. *Caatinga.* 2018. 31, 963-971. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252018v31n419rc>

Sinha, S. K.; Kumar, A.; Kumari, A.; Singh, A. K. The Integrated Effect of Organic Manure, Biofertilizer and Inorganic Fertilizer on Soil Properties, Yield and Quality in Sugarcane Plant-ratoon System under Calcareous Soil of Indogangetic Plains of India. *Journal of Scientific Research and Reports.* **2024.** 30, 193-206. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i51934>

Tamás, N.P.; Mary, K.; Tamás, M. Study of the mineralisation of pelletized chicken manure at different soil moisture content of a sandy soil. *Natural Resources and Sustainable Development.* **2020.** 10, 101-114. <https://doi.org/10.31924/nrsd.v10i1.048>

Tiecher, T.; Santos, D.R.; Rasche, J.W.A.; Brunetto, G.; Mallmann, F.J.K.; Piccin, R. Resposta de culturas e disponibilidade de abastecimento em solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica submetida à adubação sulfatada. *Bragantina.* **2012.** 71, 518–527. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052013005000010>

Tischler, A.L.; Jerônimo, E.M.; Lúcio, A.D.C.; Sari, B.G.; Melo, P.J.D.; Boesso, F.F.; Tartaglia, F.D.L. Sugarcane harvest time for processing and technological quality of brown sugar. *Pesqui. Agropecuária Bras.* **2021.** 56, e02435. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2021.v56.02435>

Ulrike, M. Are legumes different? Origins and consequences of evolving nitrogen fixing symbioses. *Journal of Plant Physiology.* **2022.** 276, 153765. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2022.153765>

Unagwu, B.O. Organic amendments applied to a degraded soil: Short term effects on soil quality indicators. *African Journal of Agricultural Research.* **2019.** 14, 218–225. <https://doi.org/10.5897/AJAR2018.13457>

Valle, S.F.d.; Giroto, A.S.; Reis, H.P.G.; Guimarães, G.G.F.; Ribeiro, C. Synergy of Phosphate-Controlled Release and Sulfur Oxidation in Novel Polysulfide Composites for Sustainable Fertilization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 2021. 69, 2392-2402. [10.1021/acs.jafc.0c07333](https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c07333)

Van Der Watt, H.V.H; Sumner, M.E.; Cabrera, M.L. Bioavailability of copper, manganese, and zinc in poultry litter. *Journal of Environmental Quality*. **1994**. 23, 43-49. <https://doi.org/10.2134/jeq1994.00472425002300010008x>

Vinayalakshmi, P.; Luther, M. M.; Bharathalakshmi, M.; Rao, Ch. S.; Rao, V. S. Growth and Yield of Sugarcane Seed Crop as Influenced by Fertilizer Rates and Timing in Anakapalle, Andhra Pradesh, India. *International Journal of Plant & Soil Science*. **2021**. 33, 8-19. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2021/v33i2030624>

Vitti, G.C; Mazza, J.A. Planejamento, estratégias de manejo e nutrição de cana-de-açúcar. *Informações Agronômicas*. **2002**. 1-16.

Wubale, T.; Girma, A. Effect of rate and time of nitrogen application on growth and quality of seed cane produced from tissue cultured plantlets at Tana Beles sugar development project, Ethiopia. *International Journal of Comprehensive Research in Biological Sciences*. **2018**. 5, 23-32.

Xu, N.; Bhadha, J.H.; Rabbany, A.; Swanson, S.; McCray, J.M.; Li, Y.C.; Strauss, S.L.; Mylavarapu, R. Crop Nutrition and Yield Response of Bagasse Application on Sugarcane Grown on a Mineral Soil. *Agronomy*. **2021**. 11, 1526. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081526>

You, M.; Lu-Jun Li, Qing Tian, Peng He, Guiping He, Xiang-Xiang Hao, William R. Horwath. Residue decomposition and priming of soil organic carbon following different NPK fertilizer histories. *Soil Fertility & Plant Nutrition*. **2020**. 84, 1898–1909. <https://doi.org/10.1002/saj2.20142>

Zhang, Q.; Liu, B.; Yu, L.; Bei, Y.; Tang, B. Synergistic Promotion of the Electrochemical Reduction of Nitrogen to Ammonia by Phosphorus and Potassium. *ChemCatChem*. **2020**. 12, 334–341. <https://doi.org/10.1002/cctc.201901519>

Zhang, W.; Xue, Y.F.; Chen, X.P.; Zhang, F.S.; Zou, C.Q. Zinc nutrition for high productivity and human health in intensive production of wheat. *Advances in Agronomy*. **2020**. 163, 179-217. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.05.004>

5 CAPÍTULO III

Efeito residual da adubação fosfatada mineral e orgânica com cama de frango na segunda soqueira de cana-de-açúcar

(Normas de acordo com a revista Agronomy-MDPI base1)

Resumo: A cana-de-açúcar é uma cultura semiperene, com ciclo de crescimento longo, que demanda altas doses de fósforo para obter altas produtividades. No entanto, nem todo fósforo aplicado é aproveitado (absorvido) no ciclo da cana que recebeu a aplicação. Assim, postula-se que parte do fósforo residual pode suprir a demanda deste nutriente para a soqueira da cana-de-açúcar, contribuindo para a longevidade do canavial, que reduz os cultos com fertilizantes. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito residual da adubação mineral com superfosfato triplo (SFT) e orgânica com cama de frango (CF), aplicados à cana-planta e na primeira soqueira de cana-de-açúcar, na segunda soqueira do genótipo IACSP95-5094, cultivada em Latossolo Vermelho eutrófico de cerrado. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso analisados em esquema fatorial 5 x 5 com quatro repetições. Os fatores avaliados consistiram em cinco doses SFT: 0; 60; 120; 180 e 240 kg ha⁻¹, e cinco doses de: 0; 2; 4; 6 e 8 t ha⁻¹ como fontes de P, ambas as fontes e doses aplicadas no sulco de plantio e sobre o início da rebrota da segunda soqueira (30 dias após o primeiro corte). No estudo, o açúcar total recuperável, sólidos solúveis totais, pureza aparente do caldo e pol do caldo foram maiores com o residual das aplicações de CF. Já a interação das aplicações das fontes de P (SFT x CF) proporcionou aumentos na altura de plantas, no diâmetro médio do colmo e no número de perfilhos, na produtividade em toneladas de colmo por hectare (TCH), no teor de fibra, no rendimento de açúcar e no rendimento de álcool. Nas condições deste estudo, o residual das doses de 240 kg ha⁻¹ de SFT com 8 t ha⁻¹ de CF proporcionou maior TCH.

Palavras-chave: *Saccharum* spp., segunda soqueira, superfosfato triplo, cama de frango, dose de fosforo.

5.1 Introdução

A cana-de-açúcar cultivada nos Latossolos Vermelho eutrófico, em condições de sequeiro, tem apresentado rendimentos satisfatórios (Oliveira Junior *et al.*, 2023). No entanto, as elevadas produtividades na maioria dos solos brasileiros estão associadas ao manejo correto de adubação, sobretudo a fosfatada. O fósforo, é um dos nutrientes que contribui na elevação da produtividade e na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar (Borges *et al.*, 2020). O P fornecido via fertilizantes pode aumentar significativamente o rendimento final da cultura (Wu *et al.*, 2020) e favorecer os ciclos de soqueiras subsequentes (Borges *et al.*, 2019).

Portanto, entender o efeito residual da adubação fosfatada nos ciclos das culturas subsequentes, como a cana-de-açúcar, é crucial. Há necessidade de racionalizar a adubação fosfatada para essa cultura, que pode reduzir o custo de produção (Cruscio *et al.*, 2020). A avaliação do efeito residual de P pode ser feita experimentalmente através da resposta da soqueira.

Regiões de climas tropicais os solos são altamente intemperizados e apresentam alta complexidade do P na fase coloidal, que dificultam a absorção do P do fertilizante pelas culturas, limitando a disponibilidade do P aplicado de 15 a 25% (Zanão *et al.*, 2020; Boaventura *et al.*, 2023; Roy *et al.*, 2016; Sanders *et al.*, 2012). Entretanto, na região do cerrado elevou-se a demanda por fertilizantes fosfatados. Geralmente, a disponibilidade de P no solo aumenta lentamente, uma vez que a maioria do P presente nos fertilizantes é rapidamente adsorvido pelos hidróxidos de Fe e Al (Novais *et al.*, 2007; Rodrigues *et al.*, 2016; Roy *et al.*, 2016; Sousa e Lobato, 2004).

Para atender a alta demanda nutricional da cana-de-açúcar, é comum a utilização de grandes quantidades de fertilizantes minerais (Crusciol *et al.*, 2020). No entanto, a crescente necessidade por otimização e eficiência dos recursos no processo produtivo, gera incertezas quanto ao alto consumo de fertilizantes minerais, especificamente aqueles produzidos com matéria-prima importada, elevando significativamente o custo da agricultura (Moraes *et al.*, 2017).

Nesse contexto, o uso de resíduos orgânicos como alternativa de substituição ou complementação da adubação mineral na cultura da cana-de-açúcar surge como solução viável. Essa prática não só torna a produção agrícola mais econômica e sustentável, mediante a reciclagem de P e outros nutrientes de plantas, mas aproveita resíduos que, de outra forma, seriam descartados na natureza sem utilidade oferecendo destinação mais adequada aos resíduos. O uso da cama de frango como substituto dos insumos agrícolas minerais à base de fósforo, tem aumentado (Ashworth *et al.*, 2020; Almeida *et al.*, 2019; Nawaz *et al.*, 2017).

A utilização da cama de frango como fertilizante pode promover a sustentabilidade ambiental, transformando um potencial poluente em uma opção para enriquecer o solo (Guimarães *et al.*, 2016). Isso não apenas reduz a necessidade de fertilizantes minerais, mas oferece alternativa mais viável ao meio ambiente. Além disso, contribui para qualidade física e biológica do solo, elevando o teor de matéria orgânica e capacidade de troca catiônica, principalmente em solos tropicais (Zuo *et al.*, 2019; Melo *et al.*, 2018; Barbosa *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2001; Nascimento *et al.*, 2004).

Apesar de a aplicação de altas doses de fósforo no plantio da cana-de-açúcar, Costa *et al.* (2014) e Gopalasundaram *et al.* (2012) discorrem que o efeito residual dessa fertilização inicial não é suficiente para suprir as necessidades da cultura nos anos seguintes, resultando em declínio na produtividade da cana-de-açúcar; no entanto, pode reduzir a demanda de fertilizantes minerais a ser aplicada.

Com isso, estabeleceu-se a hipótese de que fontes de P mineral e orgânica, aplicadas no plantio da cana-planta e na primeira soqueira da cana-de-açúcar, cultivada em Latossolo Vermelho proporcionam efeito residual na segunda soqueira, que suprem a demanda do nutriente e que a combinação das fontes de P em aplicações anteriores maximizam o desempenho agrônômico e qualidade tecnológica da segunda soqueira.

Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito residual da adubação mineral com SFT e orgânica com CF aplicados à cana-planta e na primeira soqueira de cana-de-açúcar no desenvolvimento, produtividade e qualidade tecnológica da segunda soqueira.

4.2 Materiais e métodos

5.2.1 Local da condução experimental

O experimento foi realizado em campo na Destilaria Nova União S/A, localizado na zona rural do município de Jandaia, estado de Goiás, Centro-Oeste do Brasil (17°15'52,6" S e 50°08'23,2" W, a 519 m de altitude). O clima do local é Aw -Tropical Úmido (inverno seco e verão chuvoso) segundo a classificação climática de Köppen-Geiger (Alvares *et al.*, 2013). O solo da área experimental é como Latossolo Vermelho eutrófico, típico, fase cerrado, com histórico de cultivo com forrageiras para pastagem.

Segundo os dados da estação meteorológica instalada na área, a precipitação média foi de 1.207,87 mm ano⁻¹. O experimento foi realizado na safra 2021/2022 (segunda soqueira). Foi medida a precipitação pluvial (mm), temperatura (°C) e umidade média do ar (%). Os dados climatológicos registrados foram: 1.151,60 mm; 23,80°C e 68,41% (Figura 1).

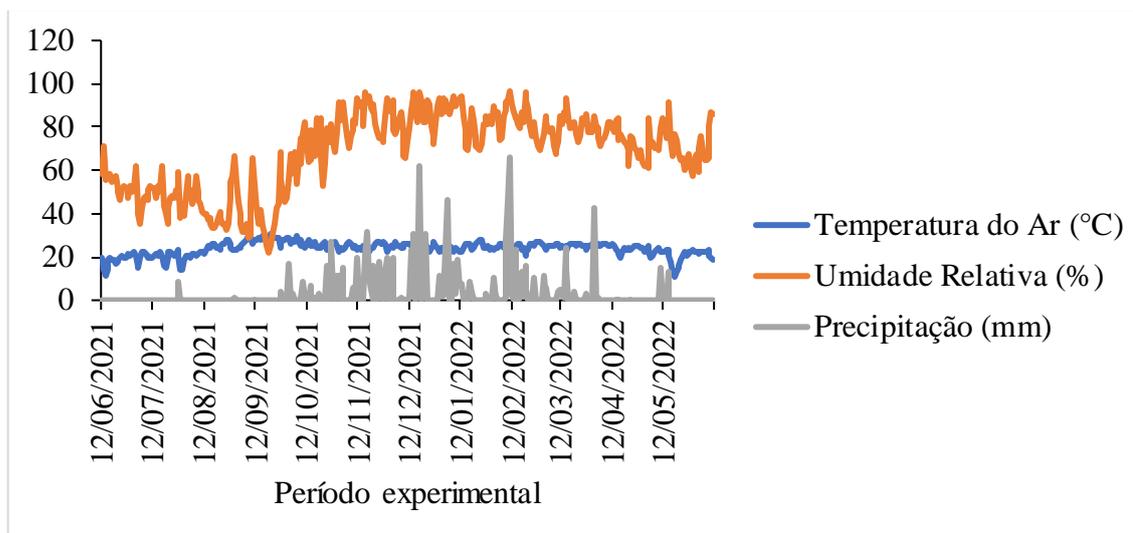


Figura 1. Precipitação mensal e temperatura para cada safra. As lacunas nos resultados de precipitação significam zero.

Inicialmente, foram coletadas amostras para caracterização dos atributos químicos (Raij *et al.*, 2001) e físico (Teixeira *et al.*, 2017), na camada 0,0 - 0,2 m, com os seguintes resultados: M.O. = 27,10%; pH em H₂O = 5,85; P (Resina) = 1,60 mg dm⁻³; K (Resina) = 68,17 mg dm⁻³; S = 2,67 mg dm⁻³; B = 0,51 mg dm⁻³; Cu = 3,60 mg dm⁻³; Fe = 12,64 mg dm⁻³; Zn = 0,81 mg dm⁻³; Mn = 5,95 mg dm⁻³; Ca = 4,14 cmolc dm⁻³; Mg = 0,87 cmolc dm⁻³; Al = 0,00 cmolc dm⁻³; H+Al = 2,32 cmolc dm⁻³; Ca+Mg = 5,01 cmolc dm⁻³; Soma de bases = 5,18 cmolc dm⁻³; Capacidade de troca catiônica = 7,50 cmolc dm⁻³; Carbono orgânico total = 15,72%; V = 68,23%; Argila = 44,23 g kg⁻¹.

Em março de 2019, foi feita a aplicação de 1,5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico em área total. O calcário possuía garantias de CaO 31%, Mg 18%, PRNT 90%, PN de 100%. A saturação de base foi elevada a 70% de acordo com as necessidades para cultura da cana-de-açúcar citado por Xavier *et al.* (2020). Após a aplicação do calcário, foi incorporado ao solo com grade com subsolagem, aração e gradagem a 0,40 m de profundidade. O plantio da cana-de-açúcar ocorreu após três meses.

5.2.2 Tratamentos e delineamento experimental com residual das aplicações de P mineral e orgânico

O SFT utilizado, apresenta na composição 46% de P₂O₅ e 10 % de Ca com os grânulos no tamanho de 2 a 4 mm. Já a cama de frango foi oriunda de uma granja de frangos, no município de Palmeiras de Goiás, GO. Realizou-se a análise do fertilizante orgânico, que apresentou os seguintes resultados (média das aplicações): umidade a 105°C = 17,36%; Material Mineral = 326,90 g kg⁻¹; Material Orgânico = 673,20 g kg⁻¹;

Carbono Orgânico = 413,00 g kg⁻¹; N = 25,40 g kg⁻¹; P = 7,40 g kg⁻¹; K = 7,40 g kg⁻¹; Ca = 0,19 g kg⁻¹; Mg = 0,04 g kg⁻¹; S = 15,20 g kg⁻¹; B = 0,3 mg kg⁻¹; Zn = 2,80 mg kg⁻¹; de Fe = 25,00 mg kg⁻¹; Mn = 5,20 mg kg⁻¹ e Cu = 3,40 mg kg⁻¹.

A cana-de-açúcar foi plantada junho de 2019 (genótipo IACSP95-5094, as avaliações deste estudo correspondem a segunda soqueira. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso no esquema fatorial 5 x 5, sendo o primeiro fator o residual das doses do adubo mineral superfosfato triplo (SFT) 0; 60; 120; 180 e 240 kg ha⁻¹, e o segundo o residual das doses do adubo orgânico cama de frango (CF) 0; 2; 4; 6 e 8 t ha⁻¹, com quatro repetições, totalizando 100 parcelas experimentais, aplicados no ciclo da cana-planta (2019/2020) e primeira soqueira (2020/2021).

Com base no teor de P presente no SFT e na CF, foram fornecidos 27,60; 55,20; 82,80 e 110,40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via SFT; e 32,70; 65,40; 98,10 e 130,80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via CF. As doses de SFT e CF aplicadas à cana-planta e na primeira soqueira, foram estabelecidas com base nas práticas de utilização dos fertilizantes utilizados pela Destilaria Nova União.

O plantio foi realizado de forma vegetativa, adotando o sistema de cana de 12 meses. A densidade de distribuição de mudas utilizou a densidade média de 12 gemas por metro linear. Cada parcela foi formada por 10 linhas de cana-de-açúcar, com 10 m de comprimento com espaçamento de 1,5 m entrelinhas.

A adubação nitrogenada e potássica de plantio da cana-planta e da segunda soqueira correspondem a 90 kg ha⁻¹ de N e 80 kg ha⁻¹ de K₂O em cada ciclo, aplicadas no sulco de plantio na cana-planta. Após 30 dias da colheita da cana-planta, foram reaplicadas as doses de N e K recomendados por Rajj *et al.* (1997) e as doses de SFT e CF de acordo com a variação experimental. Os fertilizantes foram distribuídos manualmente na linha de plantio da cana-planta (2019/2020), em linha na superfície do solo na primeira soqueira (2020/2021), em ambos os lados, aproximadamente 0,25 m da linha de plantio juntamente com o adubo nitrogenado e potássico

Para a realização do presente estudo, as avaliações do efeito residual das diferentes doses de P₂O₅, na forma de superfosfato triplo e cama frango foram realizadas segunda soqueira, ou seja, ocorreu no ano agrícola 2021/2022, visando avaliar o efeito residual adubação mineral com superfosfato triplo (SFT) e orgânica com cama de frango (CF) como fonte de P.

A produtividade média de colmos da cana-planta sob adubação mineral e orgânica foi 148,18 t ha⁻¹. Já a produtividade de colmos da primeira soqueira sob adubação mineral e orgânica foi 164,04 t ha⁻¹ e 167,69 t ha⁻¹, respectivamente.

5.2.3 Crescimento e desenvolvimento de colmos

Para avaliar o crescimento e desenvolvimento da segunda soqueira da cana-de-açúcar, aos 12 meses após o corte da primeira soqueira, foram avaliados: a altura de plantas (AP), diâmetro médio de colmo (DC) e o número de perfilhos (NP).

A AP foi mensurada do nível do solo até a base da folha +1, como auxílio de fita métrica, graduada em cm. O DC, foram realizadas avaliações de seis colmos contíguos da área útil da parcela, medindo o diâmetro na base, meio e ponta do colmo, com auxílio de um paquímetro digital, graduado em mm. O NP foi obtido em dois metros contíguos das seis linhas centrais de cada parcela experimental.

5.2.4 Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar

Em cada parcela experimental foram coletadas subamostras contendo 10 colmos de cada repetição. Os colmos foram enviados para o laboratório de Análise Tecnológica da Destilaria Nova União, para a determinação do açúcar total recuperável (ATR), sólidos solúveis totais (°Brix), teor de fibra (FIBRA), pureza aparente do caldo (PZA), e pol do caldo (POL), conforme Consecana (2015).

Para determinar o açúcar total recuperável (ATR), foi através da seguinte equação:

$$a) \text{ATR} = (10 \times \text{POL} \times 1,05263 \times 0,915) + (10 \times \text{ARC} \times 0,915) \quad (1)$$

em que:

1,05263 é o coeficiente estequiométrico de conversão da sacarose em açúcar redutor;

0,915 é o coeficiente de recuperação da perda industrial de 8,5%;

10 x ARC são os açúcares redutores por tonelada de cana.

A determinação de sólidos solúveis do caldo (Brix; %) foi feito pela leitura direta do caldo com o uso de um refratômetro de bancada (Bellingham + Stanley Ltd., Reino Unido), calibrado previamente com água destilada.

Os teores de fibra (%) da cana foram calculados a partir da seguinte equação:

$$b) F = 0,08 \times \text{PBU} \times 0,876 \quad (2)$$

em que:

PBU = peso do bagaço úmido da prensa em gramas.

A pureza aparente do caldo (Q) foi calculada segundo a Norma ABNT NBR 16271, através da seguinte equação:

$$c) Q = (POL \div BRIX) \times 100 \quad (3)$$

A quantificação de porcentagem em massa de sacarose aparente (Pol %) foi feita seguindo as normas da NBR 16271, através da seguinte equação:

$$d) Pol\% = LPb \times (0,2605 - 0,0009882 \times Brix) \quad (4)$$

Em que:

LPd é a leitura sacarimétrica obtida à base de subacetato de chumbo.

Os rendimentos de açúcar e de álcool da segunda soqueira da cana-de-açúcar, foram calculados de acordo com metodologia descrita por Caldas (1998), conforme equação 5 e 6:

$$RAR = (PCC * PC / 100) \quad (5)$$

em que:

RAR - rendimento de açúcar (t ha⁻¹);

PCC - quantidade de açúcar bruto (%) contido nos colmos e determinada em laboratório;

TCH – tonelada de colmos por hectare (t ha⁻¹).

$$RA = ((PCC * F) + ARL) * Fg * 10 * PC \quad (6)$$

em que:

RA - rendimento de álcool bruto (m³ ha⁻¹);

F - fator de transformação estequiométrica de sacarose em uma molécula de glicose mais uma de frutose, igual a 1,052;

ARL - açúcares redutores livres em %;

Fg - fator de Gay Lussac igual a 0,6475.

5.2.5 Produtividade

A produtividade da cana-de-açúcar em tonelada de colmo por hectare (TCH), foi realizada 12 meses após a colheita da primeira soqueira. Os colmos foram cortados mecanicamente rente ao solo, com auxílio de uma colhedora e transportados por caminhão transbordo acoplado de uma balança digital, pesadas em kg e posteriormente convertido para toneladas por hectare (t ha⁻¹).

5.2.6 Análise dos dados

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), pelo teste F, seguido da aplicação do teste Tukey ($p < 0,05$), e no caso de significância, foi feita análise de regressão. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software SISVAR® (Ferreira, 2011).

5.3 Resultados

A análise de variância mostrou efeito significativo dos fatores doses de superfosfato triplo (SFT) e cama de frango (CF) na altura de plantas (AP), na produtividade em toneladas de colmo por hectare (TCH), no rendimento de açúcar (RA) e no rendimento de álcool (RA) na segunda soqueira da cana-de-açúcar (Tabela 1). Já o diâmetro médio de colmo (DC) e o teor de fibra (FIBRA) foram influenciados significativamente apenas pelo SFT, enquanto o açúcar total recuperável (ATR), sólidos solúveis totais (°Brix), pureza aparente do caldo (PZA) e o pol do caldo (POL), apenas pelo uso de cama de frango, enquanto o número de perfilhos (NP) foi influenciado pela interações das fontes superfosfato triplo e cama de frango.

Tabela 1. Altura de plantas (AP), diâmetro médio do colmo (DC) e número de perfilhos (NP), produtividade em toneladas de colmo por hectare (TCH), açúcar total recuperável (ATR), sólidos solúveis totais (°Brix), teor de fibra (FIBRA), pureza aparente do caldo (PZA), pol do caldo (POL), rendimento de açúcar (RAR) e rendimento de álcool (RAR) no ciclo da segunda soqueira da cana-de-açúcar, em razão do efeito residual de doses de superfosfato triplo e de cama de frango.

Variáveis	QM					
	Fonte de variação					
	SFT	CF	Int. SFT x CF	Bloco	Erro	CV (%)
GL	4	4	16	3	72	
AP	375,25**	3107,00**	388,47**	183,68**	76,72	4,04
DC	4,48**	1,18 ^{ns}	1,93**	0,68 ^{ns}	0,59	2,94
NP	0,11 ^{ns}	0,36 ^{ns}	1,38**	1,25**	0,40	4,63
TCH	2990,19**	255,27**	59,52**	18,41**	1,78	1,34
ATR	21,97 ^{ns}	128,40**	11,38 ^{ns}	124,42**	22,97	2,93
°BRIX	0,15 ^{ns}	1,24**	0,08 ^{ns}	2,21**	0,27	2,40
FIBRA	0,56*	0,09 ^{ns}	0,58**	0,05 ^{ns}	0,22	4,29
PZA	2,41 ^{ns}	5,26*	1,49 ^{ns}	5,19*	1,65	1,43
POL	0,13 ^{ns}	1,68**	0,08 ^{ns}	1,81**	0,28	3,24
RAR	85,83**	13,90**	1,42**	2,92 ^{ns}	0,24	3,04
RA	42,02**	6,82**	0,71**	1,37 ^{ns}	0,11	3,01

QM: Quadrado médio; SFT: Superfosfato triplo; CF: Cama de frango; Int.: Interação; GL: Grau de liberdade; CV: Coeficiente de variação; ** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

A análise de variância mostrou efeito significativo na interação das doses de SFT x CF para altura de plantas (AP). Contudo, no desdobramento das doses de SFT em cada dose de CF (Figura 2A), efeito significativo foi observado apenas para as doses 0, 2 e 4 t ha⁻¹ de CF. Os resultados de AP obtidos na dose 0 t ha⁻¹ de CF, adequaram-se ao modelo quadrático, com R² de 74,91%. Nessa dose, a maior AP (209,11 cm) foi verificada nas plantas de cana-de-açúcar com o residual de 240 kg ha⁻¹ SFT, aplicados no ciclo de cana-planta e de primeira soqueira.

Para a dose 2 e 4 t ha⁻¹ de CF em cada dose de SFT, o comportamento da distribuição foi linear, apresentando R² baixo (14,39 e 14,59%), ou seja, 85,61 e 85,41% das variações da AP não são explicadas pelas variações das doses de SFT e CF (Figura 1A). A menor AP para as doses 2 e 4 t ha⁻¹ de CF aplicadas nos dois ciclos precedentes, foi de 203,22 e 209,61 cm, respectivamente, observado dentro da dose 0 kg ha⁻¹ de SFT, enquanto a maior AP foi de 222,70 e 234,39 cm observado nas doses de 60 e 120 kg ha⁻¹ de SFT aplicado à cana planta e a primeira soqueira. Os resultados de AP da cana de

segunda soqueira, em função das doses de CF de 6 e 8 t ha⁻¹ dentro de cada dose de SFT, ambas fontes aplicadas na cana-planta e na primeira soqueira, não se ajustaram a nenhum modelo e propiciaram AP médias de 229,42 e 224,67 cm.

Para o desdobramento das doses de CF em cada dose de SFT, ambas as fontes aplicadas nos ciclos precedentes, a AP da segunda soqueira em função da dose 0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹ de CF para as doses de SFT de 0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹, adequou-se ao modelo quadrático de distribuição, com R² médio de 54,98; 78,39; 80,56 e 52,80% (Figura 2D). Conforme as equações de regressão, observa-se que o menor AP foi encontrado na dose 0 kg ha⁻¹ de CF (199,02; 183,19; 191,67 e 204,50 cm). Já as doses que propiciaram o maior AP foram 6,44, 6,22, 6,33 e 23,43 t ha⁻¹ de CF (220,58; 227,48; 231,50 e 279,85 cm) em doses 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de SFT.

No desdobramento da dose 240 kg ha⁻¹ de SFT em cada dose de CF obteve-se ajuste linear, com R² de 81,21% (Figura 2D). O maior valor observado para AP foi de 230,91 cm para a dose de 6 t ha⁻¹ de CF e o menor valor 209,11 cm para a dose 0 t ha⁻¹ de CF.

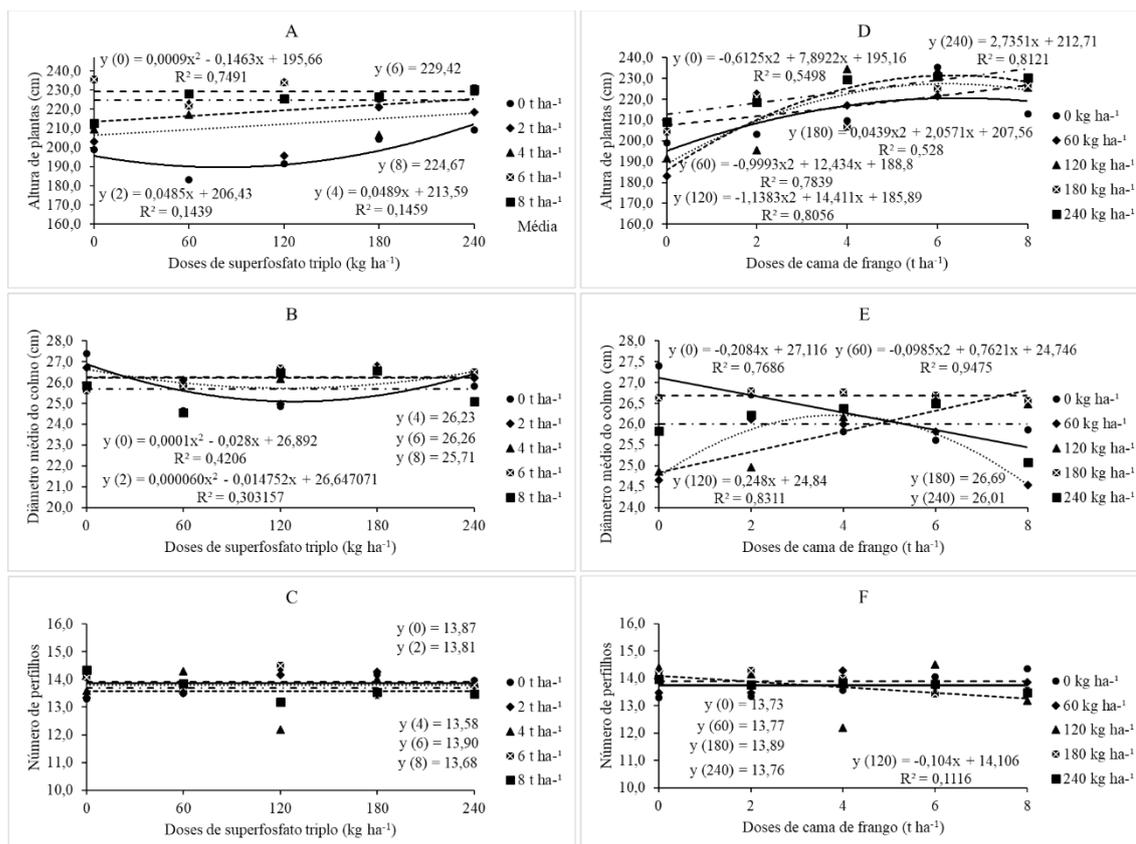


Figura 2. Altura de plantas (A), diâmetro médio do colmo (B) e número de perfilhos (C) na cana-de-açúcar em função do desdobramento das doses precedentes de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango e Altura de plantas (C), diâmetro médio do colmo (D) e número de perfilhos (E) em função do desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo, em razão do efeito residual de doses aplicadas nos ciclos precedentes.

O diâmetro do colmo (DC) da cana-de-açúcar foi significativo para a interação das doses de SFT x CF aplicadas nos ciclos precedentes. Na análise do desdobramento das doses de SFT em cada dose de CF (Figura 2B), mostra efeito significativo no DC das plantas de cana-de-açúcar em função das doses 0 e 2 t ha⁻¹ de CF em doses de SFT aplicadas nos ciclos anteriores, em estudo. Os resultados obtidos nas doses 0 e 2 t ha⁻¹ de CF adequaram-se ao modelo quadrático de destruição, apresentando coeficiente de distribuição baixo ($R^2 = 42,06$ e $30,31\%$).

Conforme as equações de regressão, pode-se observar que os menores DC observado foi 24,93 e 25,74 mm nas doses de 140 e 122,93 kg ha⁻¹ de SFT (Figura 2B). Já a dose 0 e 180 kg⁻¹ de SFT nas doses 0 e 2 t ha⁻¹ de CF proporcionou maior DC (27,40 e 26,80 mm). O DC nas doses 4, 6 e 8 t ha⁻¹ de CF em doses 0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹ de CF não foi significativo, apresentando DC médio de 26,23; 26,26 e 25,71 mm, respectivamente.

A análise do desdobramento de dose de CF em cada dose de SFT (Figura 1E) mostrou que o DC, quando encontrado em função das doses de CF de 0, 2, 4, 6 e 8 t ha⁻¹ para a dose 0 e 120 kg ha⁻¹ de SFT, adequou-se ao modelo linear com R² de 76,86 e 83,11%. A dose 0 t ha⁻¹ de CF em dose 0 kg ha⁻¹ de SFT apresentou maior DC (27,40 mm). Já o maior DC na dose 120 kg ha⁻¹ de SFT foi observado em dose 6 t ha⁻¹ de CF (26,68 mm).

O DC na dose 60 kg ha⁻¹ de SFT ajustou-se ao modelo quadrático, com R² de 94,75% (Figura 2E). Houve incremento de 0,76% no DC para cada aumento de dose de CF, atingindo valor máximo até 3,87 t ha⁻¹ de CF (26,22 mm). As doses de SFT 180 e 240 kg ha⁻¹ em doses de CF 0, 2, 4, 6 e 8 t ha⁻¹ não apresentou significância, obtendo DC médio 26,69 e 26,01 mm.

O número de perfilhos (NP) foi afetado pela interação das doses de SFT x CF. Na análise de desdobramento de doses de SFT em cada dose de CF (Figura 2C), o NP não foi significativo, apresentando resultados médios de 13,87; 13,81; 13,58; 13,90 e 13,68, respectivamente.

Quando avaliada o desdobramento de doses de CF em cada dose de SFT sobre o NP, observou-se que na dose 120 kg ha⁻¹ de SFT foi significativo (Figura 2F). Os resultados ajustaram-se ao modelo linear decrescente, com R² baixo (11,16%), sendo que, na dose 6 t ha⁻¹, a dose 120 kg ha⁻¹ de SFT apresentou o maior NP (14,51). As doses de SFT 0, 60, 180 e 240 kg ha⁻¹ não foram significativas, apresentando NP médio de 13,73; 13,77; 13,89 e 13,76, respectivamente.

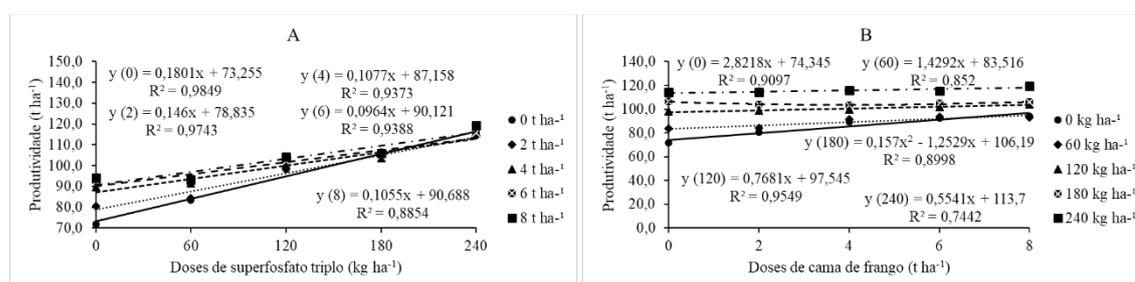


Figura 3. Produtividade de colmo por hectare da cana-de-açúcar em função do desdobramento das doses de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango (A) e produtividade de colmo por hectare em função do desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo (B), aplicadas nos ciclos precedentes.

O efeito residual da adubação fosfatada aplicada nos ciclos anteriores sobre a produtividade de colmos por hectare (TCH) respondeu positivamente no ciclo da segunda

soqueira, foi encontrada interação significativa entre os fatores em estudo (Tabela 1). resultados das avaliações das adubações fosfatada

Na interação das doses de SFT em cada dose de CF, verifica-se comportamento linear para os dados ($R^2 = 98,49; 97,43; 93,73; 93,88$ e $88,54\%$) (Figura 3A). Os maiores TCH foram verificados nas plantas sob 240 kg ha^{-1} de SFT em doses $0, 2, 4, 6$ e 8 t ha^{-1} CF, ambas as fontes aplicadas nos ciclos precedente, que foram de $114,41; 114,42; 115,82; 115,60$ e $119,36 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente. O aumento do TCH quando comparado do menor para a maior dose de SFT em cada dose de CF foi de $59,34; 42,34; 29,22; 25,28$ e $26,88\%$, respectivamente. Evidenciando a existência de efeito residual da adubação com SFT e CF realizadas nos ciclos precedentes.

Quando desdobrado o fator CF em cada dose de SFT, o TCH nas doses $0, 120$ e 240 kg ha^{-1} de SFT respondeu de forma linear crescente (Figura 3B). Quando as doses $0, 120$ e 240 kg ha^{-1} de SFT receberam 8 t ha^{-1} de CF, obteve maior TCH, apresentando $94,08; 104,18$ e $119,36 \text{ t ha}^{-1}$ de cana; enquanto o menor TCH foi quando a dose de SFT recebeu 0 t ha^{-1} de CF ($71,81; 98,15$ e $114,41 \text{ t ha}^{-1}$). Demonstrando que a adubação realizada nos dos ciclos anteriores (cana-planta e primeira soqueira) favoreceu a nutrição da segunda soqueira que respondeu com acúmulo de biomassa de colmos.

A dose 60 kg ha^{-1} de SFT, teve o mesmo ajuste linear crescente, mas a partir da dose 6 t ha^{-1} de CF observa decréscimo no TCH (Figura 3B). O TCH máximo observado na dose 6 t ha^{-1} de CF em dose de 60 kg ha^{-1} de SFT foi $93,68 \text{ t ha}^{-1}$.

Os valores de TCH obtidos nas doses de CF em dose 180 kg ha^{-1} de SFT ajustaram-se ao modelo quadrático, que, através da análise de regressão, foi estimado que na dose $3,99 \text{ t ha}^{-1}$ de CF houve a redução do TCH de $2,56\%$ quando comparado com o valor obtido na dose 0 t ha^{-1} ($106,41 \text{ t ha}^{-1}$) (Figura 3B). A partir dessa dose ($3,99 \text{ t ha}^{-1}$ de CF), o TCH elevou, chegando a $105,95 \text{ t ha}^{-1}$, valor $0,9\%$ menor quando comparado a maior produtividade obtida na dose 0 t ha^{-1} de CF em dose 180 kg ha^{-1} de SFT.

Para o ATR da cana-de-açúcar, houve significância apenas para as doses de CF (Figura 4A). O ATR da cana-de-açúcar (genótipo IACSP95-5094) variou em função das doses de CF. Os resultados de ATR adequaram-se ao modelo linear, com R^2 médio de $97,63\%$. Conforme a equação de regressão, observou-se aumento do ATR até a dose de 8 t ha^{-1} de CF ($166,77 \text{ kg t ha}^{-1}$). O menor valor de ATR foi observado na dose 0 t ha^{-1} de CF ($160,07 \text{ kg t ha}^{-1}$). Evidenciando que o uso da cama de frango tem efeito de longo prazo, favorecendo os ciclos subseqente.

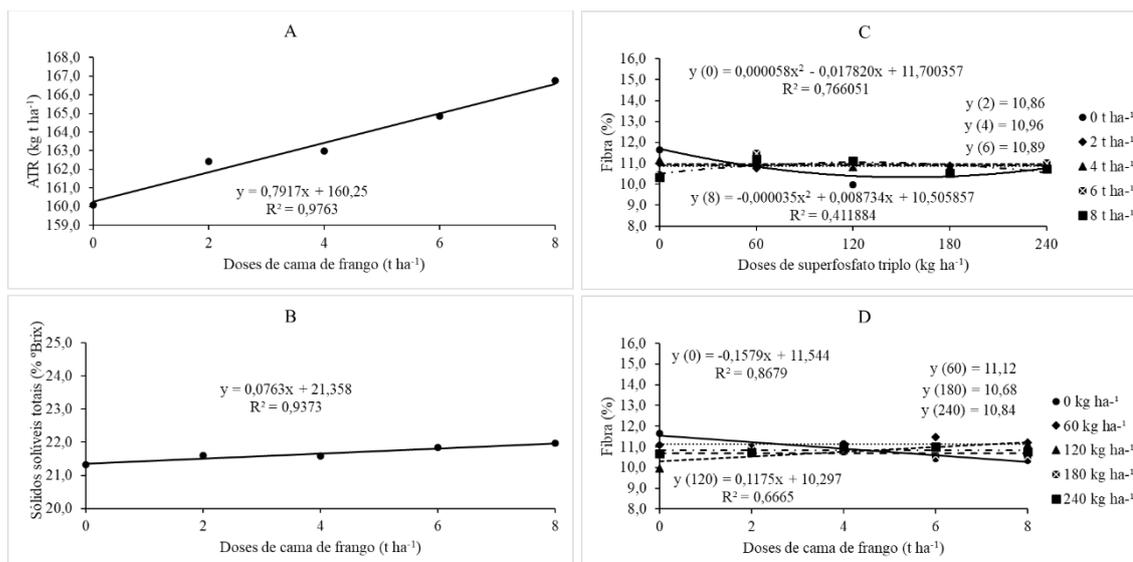


Figura 4. Açúcar total recuperável da cana-de-açúcar em função das doses de cama de frango (A), sólidos solúveis totais da cana-de-açúcar em função das doses de cama de frango (B), teor de fibra da cana-de-açúcar em função do desdobramento das doses de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango (C) e teor de fibra da cana-de-açúcar em função do desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo (D) em razão do efeito residual de doses aplicadas nos ciclos precedentes.

Os sólidos solúveis totais da cana-de-açúcar (°BRIX) em função das doses de CF adequaram-se ao modelo linear com R^2 de 93,73% (Figura 4B). Houve acréscimo de 3% do °BRIX do tratamento que não recebeu CF em relação à dose 8 t ha⁻¹ de CF, obtendo valor máximo de 21,97%.

Verificou-se efeito na interação das doses de SFT x CF sobre o teor de fibra da cana-de-açúcar (Tabela 1). No desdobramento das doses de SFT em cada dose de CF, somente as doses 0 e 8 t ha⁻¹ de CF apresentaram significância (Figura 4C). As doses 0 e 8 t ha⁻¹ de CF ajustaram-se ao modelo de equação quadrática ($R^2 = 76,60$ e $41,18\%$). Na dose 0 kg ha⁻¹ de SFT em dose 0 t ha⁻¹ de CF obteve maior porcentagem de fibra (11,64%), já na dose estimada de 124,77 kg ha⁻¹ de SFT em dose de 8 t ha⁻¹ de CF, a fibra foi de 11,50%.

Já na dose 8 t ha⁻¹ de CF, o teor de fibra estimado através da equação de regressão foi 11,50% na dose de 124,77 kg ha⁻¹ de SFT (Figura 4C). Os resultados de fibra obtidos nas doses de SFT em doses 2, 4 e 6 t ha⁻¹ de CF não foram significativos, obtendo os valores médio de: 10,86; 10,96 e 10,89%, respectivamente.

Os resultados obtidos no desdobramento das doses de CF em cada dose de SFT, o teor de fibra da cana-de-açúcar obteve significância apenas para as doses 0 e 120 kg ha⁻¹ (Figura 4D). As doses de CF em dose 0 kg ha⁻¹ de SFT, os dados ajustaram-se de forma

linear decrescente ($R^2 = 86,79\%$). A segunda soqueira de cana-de-açúcar submetida aos tratamentos com 0 t ha^{-1} de CF em dose 0 kg ha^{-1} de SFT apresentou maior teor de fibra (11,64%).

Já, para o teor de fibra, nas doses de CF em dose 120 kg ha^{-1} de SFT, os dados apresentaram ajuste linear crescente com ajuste de $R^2 = 66,65\%$ (Figura 4D). Neste ponto, o menor teor de fibra para as doses CF foi de 9,97% observado para a dose 0 t ha^{-1} de CF, enquanto o maior foi de 11,12 observado na dose de 8 t ha^{-1} . Os resultados do teor de fibra, nas doses de CF em doses 60, 180 e 240 kg ha^{-1} de SFT não foram significativos, apresentando as seguintes médias: 11,12; 10,68 e 10,84%, respectivamente.

A pureza do caldo da segunda soqueira da cana-de-açúcar foi significativa para as doses de CF (Figura 5A). No residual das aplicações das doses de 8 t ha^{-1} de CF aplicada aos dois ciclos precedentes, a segunda soqueira da cana-de-açúcar apresentou maior pureza (90,46%), obtendo acréscimo de 1,52% em relação a dose de 0 t ha^{-1} de CF (89,08%). Os resultados ajustaram-se ao modelo linear crescente, com o $R^2 97,29\%$.

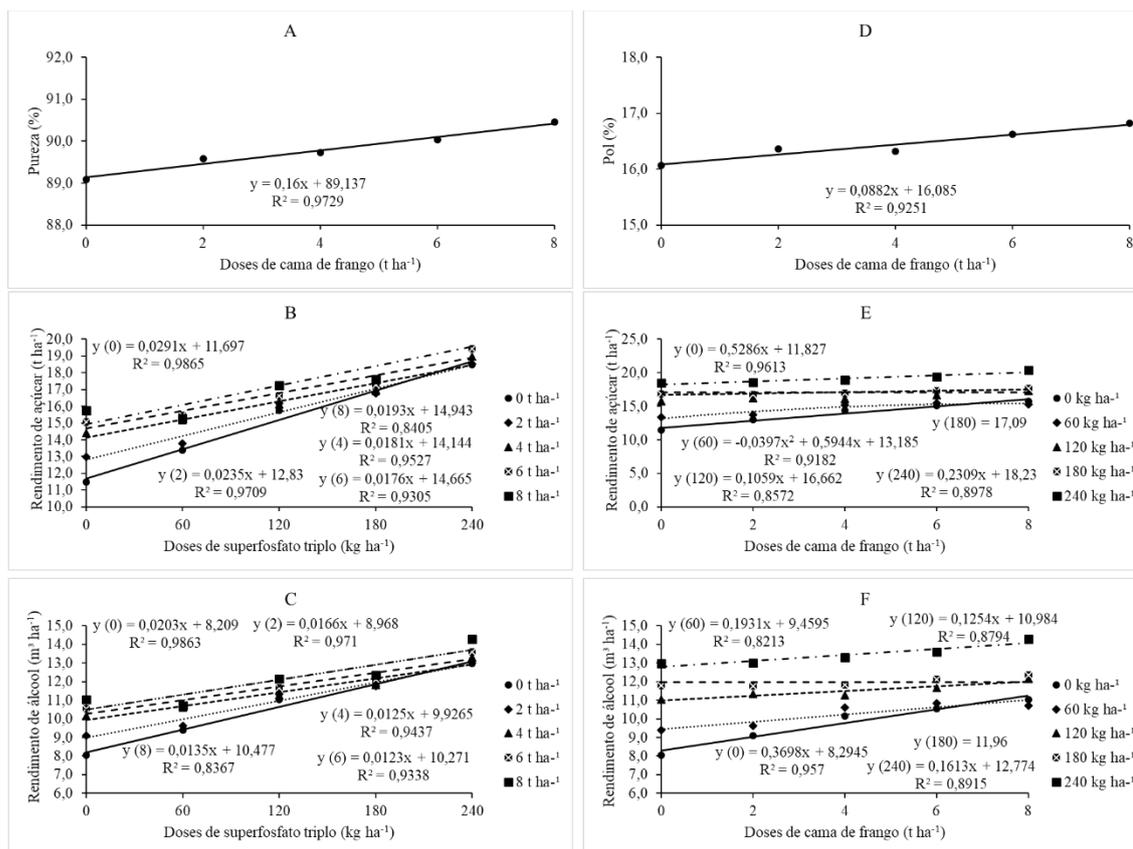


Figura 5. Pureza aparente do caldo da cana-de-açúcar em função das doses de cama de frango (A), rendimento de açúcar (B) e rendimento de álcool (C) em função do desdobramento das doses de superfosfato triplo em cada dose de cama de frango, pol do caldo da cana-de-açúcar em função das doses de cama de frango (D), rendimento de açúcar (E) e rendimento de álcool (F) em função do desdobramento de doses de cama de frango em cada dose de superfosfato triplo, em razão do efeito residual de doses aplicadas nos ciclos precedentes.

O pol da segunda soqueira da cana-de-açúcar em função das doses de CF adequou-se ao modelo linear crescente com R^2 de 92,51% (Figura 5D). Houve acréscimo de 4,46% no pol do caldo (16,82%) quando submetido no residual da aplicação da dose 8 t ha⁻¹ de CF em relação à dose 0 t ha⁻¹ de CF (16,07%).

Quanto ao rendimento de açúcar (RA), observou-se que houve interação entre os fatores SFT x CF (Tabela 1). No desdobramento das doses de SFT em cada dose de CF, houve aumento do RAR da segunda soqueira da cana-de-açúcar (Figura 5B). O residual das aplicações das doses 240 kg ha⁻¹ de SFT em doses de 0, 2, 4, 6 e 8 t ha⁻¹ de CF constou aumento de 37,83; 29,94; 23,97; 22,43 e 22,66%, respectivamente. Nessa interação, O maior RAR obtido foi 18,49; 18,53; 18,96; 19,43 e 20,35 t ha⁻¹.

As doses de CF em cada dose de SFT foram significativas para as doses 0, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹ de SFT (Figura 5E). As doses de CF em dose 60 kg ha⁻¹ de SFT apresentou comportamento quadrático ($R^2 = 91,82$). Nesta dose de SFT, a dose máxima de CF

estimada pela equação de regressão foi $7,49 \text{ t ha}^{-1}$ obtendo o valor estimado de $15,41 \text{ t ha}^{-1}$ de RAR.

As doses de CF em doses 0, 120 e 240 kg ha^{-1} de SFT apresentou comportamento linear crescente ($R^2 = 96,13; 89,95$ e $89,78\%$) (Figura 5E) para o rendimento de açúcar. Nos residuais das aplicações de 8 t ha^{-1} de CF em 0, 120 e 240 kg ha^{-1} obteve maior rendimento de açúcar ($15,74; 17,26$ e $20,35 \text{ t ha}^{-1}$). Esses rendimentos foram responsáveis por $36,90; 9,55$ e $10,06\%$ de acréscimo do RAR quando comparado aos tratamentos que não receberam CF e SFT nos dois cultivos precedentes. Isto comprova que as adubações com CF e SFT proporcionaram efeito residual que refletiu no rendimento de açúcar.

O Rendimento de álcool (RA) foi afetado pela interação das doses de SFT x CF (Tabela 1). As doses de SFT em doses 0, 2, 4, 6 e 8 t ha^{-1} de CF, aplicadas nos dois ciclos precedentes (cana-planta e primeira soqueira) apresentaram comportamento linear crescente, com ajuste de $R^2 98,63; 97,10; 94,37; 93,38$ e $83,67\%$, respectivamente (Figura 5C). O residual das aplicações das doses de 240 kg ha^{-1} de SFT em cada dose de CF, mais uma vez destacou-se com maior desempenho para o RA.

O RA máximo obtido nas doses de 240 kg ha^{-1} de SFT em doses 0, 2, 4, 6 e 8 t ha^{-1} de CF foi $12,96; 12,99; 13,28; 13,60$ e $14,27 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente (Figura 5C). A medida que aumentaram as doses de SFT em cada dose de CF, aplicadas nos ciclos precedentes, o rendimento de álcool aumentou $60,71; 42,98; 30,89; 28,98$ e $29,32\%$ quando comparado a menor dose de SFT (0 kg ha^{-1}). Isto confirma que as fontes aplicadas nos ciclos precedentes à cana-planta, favoreceram não somente a produtividade, como demonstrado anteriormente (Figura 3), mas os seus derivados, por favorecer os atributos tecnológicos.

Quando desdobrado as doses de CF em cada dose de SFT, observou-se que nas doses de SFT de 0, 60, 120 e 240 kg ha^{-1} , os dados de rendimento de álcool adequaram-se ao modelo linear, com ajuste de $R^2 = 95,70; 82,13; 87,94$ e $89,15\%$ (Figura 5F). Conforme a equação de regressão, observou-se aumento linear no RA para as doses de CF em doses de SFT de 0, 60, 120 e 240 kg ha^{-1} .

Os maiores valores máximo de RA foram observados no residual das doses de 8 t ha^{-1} de CF em doses 0, 120 e 240 kg ha^{-1} de SFT ($11,03; 12,14$ e $14,27 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) e na dose de 6 t ha^{-1} de CF em dose 60 kg ha^{-1} de SFT ($10,84 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). Os resultados de RA obtidos nas doses de CF em dose 180 kg ha^{-1} de SFT não foi significativo nos modelos matemáticos em estudo, obtendo média de $11,96 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Figura 5F).

5.4 Discussão

A altura das plantas (AP) cana-de-açúcar da segunda soqueira aumentou exponencialmente, com a interação das doses de SFT e CF. Isto pode ser atribuído ao fornecimento de fósforo por SFT e CF no plantio e na primeira soqueira da cana-de-açúcar. O fósforo é crucial para o desenvolvimento das raízes da cana-de-açúcar (Arruda *et al.*, 2016). Um bom sistema radicular permite que a planta explore maior volume de solo para absorção de água e nutrientes, e é vital para o crescimento. Crusciol *et al.* (2020) observaram que com o uso de fertilizante organomineral ocorre maior disponibilidade de P residual, e pode suprir as necessidades da cana-de-açúcar.

Vasconcelos *et al.* (2020) discorre que AP pode ser fator limitante para maiores produtividades de cana-de-açúcar. Alternativamente, neste estudo, as plantas quando submetidas no residual de 6,33 t ha⁻¹ de CF com 120 kg ha⁻¹ de SFT, atingiram altura média de 231,50 cm. Esse desempenho corresponde ao uso associado do adubo orgânico e mineral, contribuindo para a mineralização do P, que melhora a disponibilidade do elemento no solo, possibilitando aumentos na AP (Borges *et al.*, 2019).

O residual das doses de SFT e CF afetaram o diâmetro do colmo (DC) da segunda soqueira da cana-de-açúcar. Neste estudo, plantas apresentaram maior DC nos tratamentos que não receberam doses de CF e SFT (27,40 mm). Contudo o maior diâmetro de colmo não refletiu em maior produtividade de colmos da segunda soqueira, assim como dos seus derivados, açúcar e álcool, e será discutido adiante, ao contrário da AP. Na ausência da P, a segunda soqueira do genótipo IACSP95-5094 reduziu o AP e aumentou o DC. Vitti e Mazza (2002) observaram que a deficiência de fósforo apresenta redução no desenvolvimento do colmo. Níveis abaixo do ideal do P no solo podem levar a perda no desenvolvimento das plantas que varia de 5 a 15% da produção máxima (Shenoy e Kalagudi, 2005; Zambrosi *et al.*, 2015; Silveira *et al.*, 2014).

A segunda soqueira da cana-de-açúcar respondeu a interação dos tratamentos com CF e SFT, aumentando o número de perfilhos (NP). O baixo coeficiente de distribuição do NP apresentado nas doses de CF em dose 120 kg ha⁻¹ de SFT pode ser explicado pela variação residual de P nos tratamentos em estudo.

Santos *et al.* (2011) não obtiveram variação de perfilhos em função do residual da aplicação de 2 t ha⁻¹ de torta de filtro com 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Os mesmos autores concluem que o residual de 100 a 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ associada a 4,0 t ha⁻¹ de composto orgânico, aplicadas no plantio da cana-de-açúcar, favorecem no perfilhamento da soqueira.

Bokhtiar *et al.* (2008) citam que P é essencial para o perfilhamento da segunda soqueira da cana-de-açúcar. Os mesmos autores concluem que, para manter a fertilidade do solo, bem como o maior perfilhamento das soqueiras de cana-de-açúcar é essencial a reaplicação de fertilizantes mineral e orgânico. Jaarsveld *et al.* (2022) concluem que o P residual não influenciou no perfilhamento da cana-de-açúcar, mas influenciou positivamente no crescimento.

Além disso, Caione *et al.* (2013), estudando fontes de P, observaram que o SFT na segunda soqueira, apresenta menor residual e disponibilidade de P no solo. O P na cana-de-açúcar assume grande importância no vigor e no perfilhamento e, portanto, na produtividade final (Patil *et al.*, 2020; Vasconcelos *et al.*, 2020; JiaWen *et al.*, 2009).

A produtividade de colmo por hectare (TCH) da segunda soqueira da cana de açúcar, no entanto, foi afetada positivamente pela interação das doses de SFT e CF. Os tratamentos que receberam maiores doses combinadas de SFT e CF apresentaram maiores TCH. Estes resultados são atribuídos à mineralização dos resíduos orgânicos, que disponibiliza P para o solo gradativamente, que contribui para a melhoria da produção da segunda soca.

Yang *et al.* (2008) relatam que a utilização de composto orgânico é eficaz na redução de perdas de P. Ramos *et al.* (2017) citam que a liberação do fósforo da cama de frango ocorre gradativamente, pelo processo de mineralização e das atividades de microrganismos do solo. Isto, possivelmente ocorreu neste estudo, que favoreceu o crescimento da planta, com reflexos no aumento da TCH. Bryndum *et al.* (2017) discorre que a aplicação da cama de frango em áreas de produção agrícola aumenta ou mantém o conteúdo de matéria orgânica do solo e, assim, contribui para a sustentabilidade agrícola a longo prazo.

Albuquerque & Marinho (1984) mostram que, quanto maior a dose de fósforo aplicada, maior será o efeito residual e, portanto, maiores possibilidades de resposta da planta à adubação. Rajj e Quaggio (1990) discorrem que, respostas significativas em soqueira só é efetiva em solos com teores baixo de P. Bokhtiar *et al.* (2008), avaliando efeitos residual de fertilizantes orgânicos e inorgânicos na segunda soca de cana-de-açúcar, obtiveram produtividade de 68,2 a 76,5 t ha⁻¹, valores inferiores quanto comparado aos resultados neste estudo.

A concentração dos parâmetros que compõem a qualidade tecnológica dos colmos da segunda soqueira de cana-de-açúcar foi significativa entre os tratamentos. Contudo, houve diferença entre os fatores avaliados em alguns parâmetros. A resposta linear do

ATR, °BRIX e POL nas variações nas doses de CF, aplicados nos dois ciclos precedentes, é indicativo que parte do P desta fonte permaneceu no solo e pode ser atribuída à influência direta do P na qualidade industrial.

Os maiores valores de ATR, °BRIX e POL obtidos na dose de 8 t ha⁻¹ de CF podem ser interpretados como possível resposta residual das doses mais elevadas de CF, impactando positivamente a acumulação de açúcares. Isso pode indicar um estímulo da fotossíntese, respiração, armazenamento e transferência de energia, e divisão e crescimento das células, pelo fornecimento adequado do fósforo, um componente essencial para síntese e transporte de açúcares, contribuindo para o acúmulo de sacarose nos colmos (Zhou *et al.*, 2021; Tarumoto *et al.*, 2022; Zambrosi *et al.*, 2020).

De acordo com a CONAB (2024), o ATR médio do Estado de Goiás é de 137,33 kg t⁻¹. No presente trabalho, o valor máximo observado de ATR foi 166,77 kg t⁻¹. Costa *et al.* (2019), avaliando Qualidade tecnológica da cana-planta e cana-soca cultivadas sob adubação fosfatada em solos de diferentes texturas, obtiveram valor máximo de ATR de 162,99 kg t⁻¹.

Na aplicação de 114 kg ha⁻¹ de P₂O₅, Albuquerque *et al.* (2016), observaram que resultou em ATR de 161,6 kg t⁻¹. Prado *et al.* (2017) observaram redução dos teores ATR com adubação fosfatada, indicando prejuízos na comercialização da cana.

O Pol máximo observado foi 16,82%. Esse valor segundo a Consecana (2015), indica que a soqueira do genótipo IACSP95-5094 estava no ponto de colheita, já que os valores acima de 12,25% são indicativos de maturidade. O P uma vez que o nutriente influencia o POL da cana contida no caldo (Simões Neto *et al.*, 2009). Simões Neto *et al.* (2012), citam que maiores incrementos de POL ocorreram em áreas alta disponibilidade de P no solo. Assim, aumentar os valores de POL pode melhorar o rendimento industrial da cana-de-açúcar (Oliveira *et al.*, 2019).

Segundo Duarte *et al.* (2019), o °BRIX está diretamente relacionado ao rendimento de açúcar e álcool, e a porcentagem ideal varia de 18 a 25%. Os valores obtidos neste estudo estão entre 21,33 e 21,97%, estando dentro da faixa adequada. Costa *et al.* (2019) obtiveram 23,0 e 22,10% de °BRIX ao avaliar qualidade industrial na cana-planta e na primeira soqueira.

Foi observado efeito da interação das doses de SFT e CF sobre os teores de fibra. Os tratamentos que não receberam doses SFT e CF apresentaram maiores teores de fibra, 11,64%. Genótipos ricos em fibra têm maior resistência ao ataque de pragas e tombamento do colmo (Prado *et al.*, 2017). Por outro lado, os mesmos autores citam que

teores elevados é indesejável para produção de açúcar e álcool, pois ocorre diminuição da qualidade tecnológica.

Teores de fibra até 14% são desejados na produção de cana-de-açúcar (Matsuoka, 2017; Consecana, 2015; Albuquerque *et al.*, 2016). Renan *et al.* (2016) demonstraram que o percentual de fibra da cana-de-açúcar influencia diretamente a eficiência de extração do caldo, e valores mais altos de fibra resulta em menor eficiência de extração.

A pureza do caldo é crucial para produção de açúcar, tendo impacto direto na qualidade tecnológica da cana (Eggleston e Lima, 2015; Shi *et al.*, 2021). Observou-se nas doses de CF acréscimo de forma linear, sendo a maior pureza obtida para a dose de 8 t ha⁻¹ de CF (90,46%). Albuquerque *et al.* (2016), estudando produtividade da cana-de-açúcar em função de doses de fósforo, observaram que a qualidade da matéria-prima foi melhorada com adubação fosfatada.

Houve interação entre as doses de SFT x CF para rendimento de açúcar (RAR), e o RAR aumentou de forma linearmente em função do residual das doses de SFT e CF. Como esperado, isso teve impacto positivo na produtividade. Porém, somente as doses de CF em dose 60 kg⁻¹ de SFT obtiveram comportamento exponencial. Neste tratamento, quando foi aplicado 7,49 t ha⁻¹ de CF, obteve 15,41 t ha⁻¹ de RAR. Neste estudo, o residual da combinação de 240 kg ha⁻¹ de SFT com 8 t ha⁻¹ de CF apresentaram média de 20,35 t ha⁻¹ de RAR, maiores valores obtido neste estudo.

Já o efeito residual das interações das doses de SFT e CF no RA foi determinado de acordo com a equação de regressão linear, que apresentou um RA máximo de 17,27 m³ ha⁻¹ obtido no residual de 240 kg ha⁻¹ de SFT com 8 t ha⁻¹ de CF. Como as aplicações de P ocorreu no sulco de plantio e na cobertura da primeira soqueira, acredita-se que o teor de P para a segunda soqueira permaneceu elevado pelo efeito residual no solo.

É provável que o aumento do RAR e RAR esteja relacionado ao aumento do teor de P do solo, pelas altas aplicações SFT e CF recebida no plantio da cana-planta e da primeira soqueira, porque o P desempenha papel importante no enraizamento e perfilhamento da cana-de-açúcar, afetando positivamente a produtividade de colmos e de açúcar (Hansel *et al.*, 2017; Pina *et al.*, 2015).

De modo semelhante, este estudo mostrou que a combinação de fertilizante mineral com compostos orgânicos pode ser mais eficiente, especialmente pela redução da adsorção de fósforo nos minerais de alumínio e ferro, como demonstrado por outros autores (Moda *et al.*, 2015; Yan *et al.*, 2017; Campos *et al.*, 2016).

Crusciol *et al.* (2020) relatam que há maior disponibilidade de P residual com o uso de fertilizante organomineral, não afetando a produção de colmos e de açúcar. Kumar e Mishra (1992), citam que a combinação adequada de fontes orgânicas e inorgânicas pode aumentar a eficiência dos fertilizantes e, finalmente, o rendimento da soqueira da cana-de-açúcar.

Bokhtiar e Sakurai (2005) observaram que os efeitos residuais da adubação orgânica aplicada na cana-planta aumentam a eficiência do uso de nutrientes pela soqueira da cana. Os mesmos autores concluíram que a combinação de adubos orgânicos e mineral aumentam a disponibilidade de P para as plantas, mantêm e renova a matéria orgânica e melhor as propriedades físico-químicas do solo, o rendimento da cana e a qualidade do suco.

Ball-Coelho *et al.* (1993), avaliando dinâmica de P no solo concluíram que, o adubo orgânico como fonte de P aplicado em sulco de plantio 0,20 m de profundidade no plantio da cana-de-açúcar, ocorre maior concentração do elemento nas frações mais lábeis, tendo efeito residual na primeira soca. Os mesmos autores também relatam que, aplicações de fonte de P orgânico longo prazo ocorre acumulação de fertilizante P nos 30 cm superiores, que favorece no rendimento industrial da cana-de-açúcar.

Considerando esses resultados, o presente estudo corrobora que aplicações de SFT e CF é uma alternativa agrônômica e econômica promissora para produtores de cana-de-açúcar no suprimento de P, que pode proporcionar efeito residual em ciclos subsequentes de cana de açúcar, que pode contribuir para longevidade do canavial. O equilíbrio entre fonte mineral e orgânico pode melhorar atributos físicos químicos e biológicos do solo, com reflexos positivos no crescimento, desenvolvimento, produtividade, qualidade industrial rendimento de açúcar e álcool.

5.5 Conclusões

Os resultados deste experimento evidenciam a influência positiva do residual das doses superfosfato triplo e cama de frango na altura de planta na segunda soqueira de cana-de-açúcar. Além disso, observou-se que no residual do superfosfato triplo e da cama de frango, teve impacto positivos no diâmetro de colmos e número de perfilhos, graças a a liberação gradual dos nutrientes durante o ciclo da planta.

O residual das doses CF até 8 t ha⁻¹, aplicado no plantio e na primeira soqueira, afeta positivamente o ATR, °BRIX, POL e PZA no ciclo de segunda soqueira da cana-

de-açúcar, que reflete positivamente na produção. Desse modo, considerando apenas essas variáveis no ciclo de cultivo, pode-se desprezar a aplicação de doses de P_2O_5 .

Na ausência do residual da adubação fosfatada, elevou o teor de fibra da segunda soqueira do genótipo IACSP95-5094. Um alto teor de fibras na cana-de-açúcar pode reduzir a eficiência na produção de açúcar, pois as fibras dificultam a extração da sacarose durante o processamento.

No contexto de produção, o residual das doses de 240 kg ha^{-1} de superfosfato triplo com a dose 8 t ha^{-1} de cama de frango favoreceu a demanda de fósforo da segunda soqueira de cana-de-açúcar, proporcionando TCH máximo de $119,36 \text{ t ha}^{-1}$. Além disso, o residual dessas doses resultou positivamente no rendimento de açúcar e álcool, proporcionando rendimentos de $20,35 \text{ t ha}^{-1}$ e $14,24 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente.

A interpretação desses resultados não só enriquece o conhecimento sobre o cultivo da segunda soqueira da cana-de-açúcar, mas fornece subsídios valiosos para orientar práticas de adubação fosfatada mais eficientes e sustentáveis nos próximos ciclos de soqueira. Essa perspectiva é essencial para promover uma abordagem equilibrada e consciente, visando um ambiente mais produtivo.

A cama de frango demonstrou ser alternativa viável para a suplementação da adubação fosfatada mineral para a cana-de-açúcar, proporcionando efeito residual na soqueira subsequente.

5.6 Referências

Albuquerque, A.W.; Sá, L.A.; Rodrigues, W.A.R.; Moura, A.B.; Oliveira Filho, M.S. Growth and yield of sugarcane as a function of phosphorus doses and forms of application. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. **2016**. 20, 29–35.

Albuquerque, G.A.C.; Marinho, M.L. Efeito residual do fósforo em cana-soca nos tabuleiros de Alagoas. In: Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil. 1984, São Paulo. Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil. **1984**. 3, 153-58.

Almeida, R.F.; Queiroz, I.D.S.; Mikhael, J.E.R.; Oliveira, R.C.; Borges, E.N. Enriched animal manure as a source of phosphorus in sustainable agriculture. *Int J Recycl Org Waste Agricult*. **2019**. 8, 203–210. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-00291-x>

Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Moraes Gonçalves, J.L.d.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. **2013**. 22, 711-728. [10.1127/0941-2948/2013/0507](https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507)

Arruda, B.; Rodrigues, M.; Soltangheisi, A.; Richardson, A. E.; Andreote, F.D.; Pavinato, P.S. Características biológicas e morfológicas de raízes de cana-de-açúcar em relação à absorção de fósforo. *Jornal de ciência do solo e nutrição de plantas*. **2016**. 16, 901-915. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162016005000064>

Ashworth, A.J.; Chastain, J.P.; Moore Jr, P.A. Características nutricionais do esterco e cama de aves. *Animal Manure*. **2020**. 63-87 <https://doi.org/10.2134/asaspecpub67.c5>

Ball-Coelho, B., Tiessen, H., Stewart, J.W.B.; Salcedo, I.H. Dinâmica de fósforo de curto e longo prazo em um argissolo fertilizado sob cana-de-açúcar. *Jornal da Sociedade de Ciências do Solo da América*. **1993**. 57, 1027-1034. <https://doi.org/10.2136/sssaj1993.03615995005700040025x>

Barbosa, J.Z.; Poggere, G.C.; Dalpiso, M.; Serrat, B.M.; Bittencourt, S.; Motta, A.C.V. Alkalinized sewage sludge application improves fertility of acid soils. *Cienc Agrotec*. **2017**. 41, 483–493. <http://dx.doi.org/10.1590/1413-70542017415006717>.

Boaventura, K.d.J.; Silva, C.M.d.; Silva, Sandro, D. Embrapa and the Agronomic Development for the “Conquest” of the Brazilian Cerrado (1975-95). *Revista de agricultura e história rural*. **2023**. 89, 247-278. <https://doi.org/10.26882/histagr.089e08b>

Bokhtiar, S.; Sakurai, K. Efeitos da adubação orgânica e da adubação química na fertilidade do solo e na produtividade das culturas planta e soca de cana-de-açúcar. *Arquivos de Agronomia e Ciência do Solo*. **2005**. 51, 325–334. <https://doi.org/10.1080/03650340500098006>

Bokhtiar, S.M.; Paul, G.C.; Alam, K.M. Effects of organic and inorganic fertilizer on growth, yield, and juice quality and residual effects on ratoon crops of sugarcane. *Journal of Plant Nutrition*. **2008**. 31, 1832–1843. <https://doi.org/10.1080/01904160802325545>

Borges, B.M.M.N.; Abdala, D.B.; Souza, M.F.d.; Viglio, L.M.; Coelho, M.J.A.; Pavinato, P.S.; Franco, H.C.J. Organomineral phosphate fertilizer from sugarcane byproduct and its effects on soil phosphorus availability and sugarcane yield. *Geoderma*. **2019**. 339, 20-30. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.12.036>

Borges, B.M.M.N.; Strauss, M.; Camelo, P.A.; Sohi, S.P.; Franco, H.C.J. Re-use of sugarcane residue as a novel biochar fertiliser - Increased phosphorus use efficiency and plant yield. *Journal of Cleaner Production*. **2020**. 262, 121406. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121406>

Bryndum, S.; Muschler, R.; Nigussie, A.; Magid, J.; Neergaard, A.d. Reduced turning frequency and delayed poultry manure addition reduces N loss from sugarcane compost. *Waste Management*. **2017**. 65, 169-177. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.04.001>

Caione, G.; Fernandes, F.M.; Lange, A. Efeito residual de fontes de fósforo nos atributos químicos do solo, nutrição e produtividade de biomassa da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. **2013**. 8, 189-196. <https://doi.org/10.5039/agraria.v8i2a2016>

Caldas, C. Manual de análises selecionadas para indústrias sucroalcooleiras. Maceió: Sindicato da Indústria e do Álcool do Estado de Alagoas. **1998**. 424

Campos, M. D.; Antonangelo, J.A.; Alleoni, L.R.F. Índice de sorção de fósforo em solos tropicais úmidos. *Soil and Tillage Research*. **2016**. 156, 110–118. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.09.020>

CONAB - Companhia nacional de abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, Brasília, DF, n. 4 abril 2024.

Consecana. Manual de instruções. Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar, Álcool do Estado de São Paulo. 6.ed. Piracicaba: CONSECANA, **2015**. 79.

Costa, D.B.d.; Freire, F.J.; Santos, R.L.d.; Santos, H.C.; Oliveira, A.C.d.; Andrade, P.K.B.d. Qualidade tecnológica da cana planta e cana soca cultivadas sob adubação fosfatada em solos de diferentes texturas. *Revista Geama*. **2019**. 5, 40-46.

Costa, D.B.D.; Neto, D.E.S.; Freire, F.J.; De, E.C.A. Adubação fosfatada em cana planta e soca em argissolos do nordeste de diferentes texturas. *Caatinga*. **2014**. 27, 10.

Crusciol, C.A.C.; Campos, M.; Martello, J.M.; Alves, C.J.; Nascimento, C.A.C.; Pereira, J.C.D.R.; Cantarella, H. Organomineral fertilizer as source of P and K for sugarcane. *Sci Rep*. **2020**. 25, 5398. [10.1038/s41598-020-62315-1](https://doi.org/10.1038/s41598-020-62315-1)

Crusciol, C.A.C.; Campos, M.d.; Martello, J.M.; Alves, C.J.; Nascimento, C.A.C.; Pereira, J.C.d.R.; Cantarella, H. Fertilizante Organomineral como Fonte de P e K para Cana-de-Açúcar. *Scientific Reports*. **2020**. 10, 5398. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62315-1>

Duarte, A.; Salgado, A.P.J.; Lemos, S.V.; Souza, M.A.J. d.; Almeida, A.F.d. Proposta de melhores práticas operacionais que contribuam para a eficiência técnica nas usinas de açúcar e etanol brasileiras. *J. Limpo. Prod*. **2019**. 214, 173–184. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.204>

Eggleston, G.; Lima, I. Sustainability Issues and Opportunities in the Sugar and Sugar-Bioproduct Industries. *Sustainability*. **2015**. 7, 12209-12235. <https://doi.org/10.3390/su70912209>

Ferreira, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciênc. Agrotec*. **2011**. 35, 1039-1042.

Gopalsundaram, P.; Bhaskaran, A.; Rakkiyappan, P. Manejo Integrado de Nutrientes na Cana-de-Açúcar. *Sugar Tech*. **2012**. 14, 3–20.

Guimarães, G.; Lana, R.d.P.; Rei, R.d.S.; Veloso, C.M.; Sousa, M.R.d.M.; Rodrigues, R.C.; Campos, S.d.A. Produção de cana-de-açúcar adubada com cama de frango. *Rev. Bras. Saúde Prod. Anim*. **2016**. 17, 617-625. <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-99402016000400006>

Hansel, F.D.; Amado, T.J.C.; Diaz, D.A.R.; Rosso, L. H.M.; Nicoloso, F. T.; Schorr, M. A colocação de fertilizantes fosfatados e o preparo do solo afetam o crescimento das

raízes da soja e a tolerância à seca. *Agro. J.* **2017.** 109, 2936–2944. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.04.0202>

Jaarsveld, C.; Zharare, G.; Smit, M.; Preez, C. Availability of Residual and/or Applied Inorganic Phosphorus for Sugarcane Uptake and Growth in a Post-Mined Reconstituted Soil. *Journal of Geoscience and Environment Protection.* **2022.** 10, 112-127. <https://doi.org/10.4236/gep.2022.1011007>

JiaWen, G.; YueBin, Z.; ShaoChun, L.; ZhiMing, L.; JiaYong, L.; PeiFang, Z. Sugarcane growth, nutrition condition and photosynthetic efficiency in tillers period under various levels' phosphorus. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences.* **2009.** 22, 397-401

Kumar, V.; Mishra, D. Manurial value of press mud cake (Ganna-khoi). *Indian Farmers Digest.* **1992.** 25, 33–34.

Matsuoka, S. Free fiber level drives resilience and hybrid vigor in energy cane. *Journal of Scientific Achievements.* **2017.** 2, 1-35.

Melo, W.; Delarica, D.; Guedes, A.; Lavezzo, L.; Donha, R.; Araújo, A.; Melo, G.; Macedo, F. Ten years of application of sewage sludge on tropical soil: a balance sheet on agricultural crops and environmental quality. *Sci Total Environ.* **2018.** 643, 1493–1501. <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.scitotenv.2018.06.254>

Moda, L.R.; Prado, R.d.M.; Caione, G.; Campos, C.N.S.; Silva, E.C.d.; Flores, R.A. Efeito de fontes e doses de fósforo associadas à torta de filtro na nutrição e produtividade da cana-de-açúcar. Austrália. *J. Colheita. Ciência.* **2015.** 9, 477-485.

Moraes, E.R.; Mageste, J; G.; Lana, R.M.Q.; Silva, R.V.d.; Camargo, R. Cana-de-açúcar: Fertilizantes Organominerais e Bioestimulantes. *Tecnologia.* **2017.** <https://doi.org/10.5772/intechopen.71493>

Nascimento, C.W.A.; Barros, D.A.S.; Melo, E.E.C.; Oliveira, A.B. Soil chemical alterations and growth of maize and bean plants after sewage sludge application. *Revista Brasileira de Ciência do Solo.* **2004.** 28, 385–392. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000200017>

Nawaz, M.; Chattha, M.U.; Chattha, M. B.; Ahmad, R.; Munir, H.; Usman, M.; Hassan, M.U.; Khan, S.; Kharal, M. Assessment of compost as nutrient supplement for spring planted sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *The Journal of Animal & Plant Sciences.* **2017.** 27, 283-293.

Novais, R.F.; Alvarez, V.V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.; Cantarutti, R.B.; Neves, J.; C. Fertilidade Do Solo. *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.* **2007.** 1017.

Oliveira Junior, A.C.d.; Silva dos Santos, L.N.; Reis, M.N.O.; Vitorino, L.C.; Bessa, L.A.; Teixeira, M.B.; Soares, F.A.L. Effect of Mineral and Organic Nitrogen Sources on Vegetative Development, Nutrition, and Yield of Sugarcane. *Agronomy* **2023.** 13, 1627. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061627>

Oliveira, D.M.; Querubim, M.R.; Franco, A.L.; Santos, A.S.; Gelain, J.G.; Dias, N.M.; Diniz, T.R.; Almeida, A.N.; Feigl, B.J.; Davies, C.A.; Paustianf, K.; Karlen, D.L.; Smith, P.; Cerri, C.C.; Cerri, C.E.P. A expansão da cana-de-açúcar sobre pastagens é uma estratégia sustentável para a indústria de bioenergia do Brasil? *Renovar. Sustentar. Energ. Rev.* **2019**. 102, 346–355. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.012>

Patil, K.B.; Tripathi, S.; Jangir, R.; Saini, L. Influence of Phosphorus Management on Growth, Development and Yield of Sugarcane. *Indian Journal of Pure & Applied Biosciences.* **2020**. 8, 25-31. <http://dx.doi.org/10.18782/2582-2845.8264>

Pina, J.C.; Bono, J.A.M.; Oliveira, A.K.M.; Rufino, R.S.; Amorim, D.O. Resíduos orgânicos no enraizamento e produtividade da cultura de cana-de-açúcar em solo Neossolo Quartzarênico órtico. *Rev. Brás. Eng. Agr. Emb.* **2015**. 19, 650–655. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n7p650-655>

Prado, E.A.F.; Vitorino, A.C.T.; Mauad, M.; Ensinas, S.C.; Paim, L.R. Características tecnológicas da cana-de-açúcar sob aplicação de doses de vinhaça em Latossolo Vermelho distroférrico. *Revista de Ciências Agroveterinárias.* **2017**. 16, 386-395.

Rajj, B.; Quaggio, J.A. Extractable phosphorus availability indices as affected by liming. *Communication in Soil Science and Plant Analysis.* **1990**. 21, 1267-1276.

Rajj, B.V.; Andrade, J.C.d.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. *Instituto Agrônômico.* **2001**. 285.

Rajj, B.V.; Cantarella, H. Quaggio, J. A. Furlani, A. M. C. Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo. **1997**.

Ramos, L. A.; Lana, R.M.Q.; Korndorfer, G.H.; Silva, A.A. Effect of organo-mineral fertilizer and poultry litter waste on sugarcane yield and some plant and soil chemical properties. *African Journal of Agricultural Research.* **2017**. 12, 20-27. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11024>

Renan, O.P.; Nivaldo, S.; Rafael, C.M.; Willian, P.; Adelson, P.D.A.; Segundo, U.; Veronica, M.R. Análise de crescimento de cana-de-açúcar inoculada com bactérias diazotróficas e adubação nitrogenada. *Afr. J. Agric. Res.* **2016**. 11, 2786–2795.

Rodrigues, M.; Pavinato, P.S.; Withers, P.J.A.; Teles, A.P.B.; Herrera, W.F.B. Fósforo legado e plantio direto em latossolos tropicais do cerrado brasileiro. *Ciência do Meio Ambiente Total.* **2016**. 542, 1050-1061. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.118>

Roy, E.; Richards, P.; Martinelli, L.; Coletta, L.D.; Lins, S.R.M.; Vázquez, F.F.; Willig, E.; Spera, S.A. VanWey, L.K.; Porder, S. O custo do fósforo da intensificação agrícola nos trópicos. *Plantas da Natureza.* **2016**. 2, 16043. <https://doi.org/10.1038/nplants.2016.43>

Sanders, J.L.; Murphy, L.S.; Nobre, A.; Melgar, RJ; Perkins, J. Melhorando a eficiência do uso de fósforo com tecnologia de polímeros. *Procedia Eng.* **2012**. 46, 178–184.

Santos, D. H.; Silva, M. de A.; Tiritan, C. S.; Foloni, J. S. S.; Echer, F. R. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. **2011**. 15, 443–449. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000500002>

Shenoy, V.V.; Kalagudi, G.M. Melhorar a eficiência do uso de fósforo pelas plantas para cultivos sustentáveis. *Biotecnologia*. **2005**. 23, 501-513. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2005.01.0>

Shi, C.; Xie, C.; Zhang, Z.; Rackemann, D.; Wei, B.; Hang, F. Lu, H.; Li, K.; Doherty, W.O.S. Sugar and value-added products derived from retentate concentrate of sugarcane juice. *Journal of Cleaner Production*. **2021**. 278, 123915. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123915>

Silva, F.C.; Boaretto, A.E.; Berton, R.S.; Zotelli, H.B.; Peixe, C.A.; Bernarde, E.M. Effect of sewage sludge on the fertility of a Paleudult soil cultivated with sugarcane. *Pesq Agropec Bras*. **2001**. 36, 831–840. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2001000500014>.

Silveira, G.d.; Costa, P.M.A. d.; Kist V, Almeida, C.F. d.; Baffa, D.C.F.; Barbosa, M.H.P. Genetic variation affecting agronomic traits in sugarcane in response to high and low phosphorus availability. *Agron J*. **2014**. 106, 2296–2304.

Simões Neto, D.E.; Oliveira, A.C.; Rocha, A.T.; Freire, F.J.; Freire, M.B.G.S.; Nascimento, C.W. A. Características agroindustriais da cana-de-açúcar em função da adubação fosfatada, em solos de Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. **2012**. 16, 347-354. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000400003>

Simões Neto, D.E.; Oliveira, A.C.d.; Freire, F.J.; Freire, M.B.G.S.d.; Nascimento, C.W.A.d.; Rocha, A.T.d. Extração de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar e suas relações com a capacidade de atuação. *Rev. Brás. Eng. Agrícola. Ambiente*. **2009**. 13, 840–848. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000700005>

Sousa, D.; Lobato, E. Cerrado correção do solo e adubação. Correção. *Embrapa Informação Tecnológica*. **2004**. 416.

Tarumoto, M.B.; Campos, M.d.; Momesso, L.; Nascimento, A.C.d.; Garcia, A.; Coscolin, R. B.d.S.; Martello, J. M.; Crusciol, C.A.C. Carbohydrate Partitioning and Antioxidant Substances Synthesis Clarify the Differences Between Sugarcane Varieties on Facing Low Phosphorus Availability. *Frontiers in Plant Science*. **2022**. 13, 1-13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.888432>

Teixeira, P.C.; Donagemma, G.K.; Fontana, A. & Teixeira, W.G. Manual de métodos de análise de solo. *Embrapa*. **2017**. 573.

Vasconcelos, R.d.L.; Cremasco, C.P.; Almeida, H.J. d.; Garcia, A.; Neto, A. B.; Mauad, M.; Gabriel, L.R.A. Multivariate behavior of irrigated sugarcane with phosphate fertilizer and filter cake management: nutritional state, biometry, and agroindustrial performance. *J Soil Sci Plant Nutr*. **2020**. 20, 1625–1636. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00234-w>

Vasconcelos, R.d.L.; Cremasco, C.P.; Almeida, H.J.d.; Garcia, A.; Neto, A.B.; Mauad, M.; Gabriel, L.R.A. Multivariate Behavior of Irrigated Sugarcane with Phosphate Fertilizer and Filter Cake Management: Nutritional State, Biometry, and Agroindustrial Performance. *J Soil Sci Plant Nutr.* **2020.** 20, 1625–1636. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00234-w>

Vitti, G. C., Mazza, J. A. Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar. Potafos. **2002.** 16 p. (Encarte técnico/Informações Agronômicas, 97).

Wu, Q.; Zhou, W.; Chen, D.; Cai, A.; Ao, J. Huang, Z. Optimizing Soil and Fertilizer Phosphorus Management According to the Yield Response and Phosphorus Use Efficiency of Sugarcane in Southern China. *J Soil Sci Plant Nutr.* **2020.** 20, 1655–1664. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00236-8>

Xavier, M. Al.; Landell, M. G. de A.; Pires, R.C. de M.s; et al. Gemas brotadas de cana-de-açúcar: produção sustentável e utilização experimental na formação de áreas de multiplicação. *Instituto Agrônômico.* **2020.** 115, 52.

Yan, X.; Wei, Z.; Hong, Q.; Lu, Z.; Wu, J. Frações de fósforo e características de sorção em um solo subtropical com arroz influenciado por fontes de fertilizantes. *Geoderma.* **2017.** 295, 80–85. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.02.012>

Yang, Y.; He, Z.; Stoffella, P.J.; Yang, X.; Graetz, D.A.; Morris, D. Comportamento de lixiviação do fósforo em solos arenosos alterados com material orgânico. *Ciência do Solo.* **2008.** 173, 257-266. <https://doi.org/10.1097/SS.0b013e31816d1edf>

Zambrosi, F.C.B., Ribeiro, R.V., Marchiori, P.E.R.; Cantarella, H.; Andrade, M. Sugarcane performance under phosphorus deficiency: physiological responses and genotypic variation. *Plant Soil.* **2015.** 386, 273–283. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2252-0>

Zambrosi, F.C.B.; Mesquita, G.L.; Tanaka, F.A.O. A avaliação da ultraestrutura foliar oferece insights sobre os mecanismos que regulam o desempenho da cana-de-açúcar sob estresse com baixo teor de fósforo. *Planta Acta Physiol.* **2020.** 42, 54. <https://doi.org/10.1007/s11738-020-03052-w>

Zanão, LA, Jr.; Arf, O.; dos Reis, RA, Jr.; Pereira, N. Fertilização Fosfatada com Maior Eficiência nas Culturas de Soja e Milho. Austrália. *J. Crop Sci.* **2020.** 14, 78–84.

Zhou, W.; Chen, D.; Zeng, Q.; Tahir, M.A; Wu, Q.; Huang, Y.; Jiang, Y.; Li, Q.; Ao, J.; Huang, Z. Comportamento fisiológico diferencial de genótipos de cana-de-açúcar em resposta a fontes de fósforo pouco solúveis. *J. Planta Nutr. Solo Science.* **2021.** 184, 187-197. <https://doi.org/10.1002/jpln.202000333>

Zuo W, Gu C, Zhang W, Xu K, Wang Y, Bai Y, Shan Y, Dai Q. A correção de lodo de esgoto melhorou as propriedades do solo e a produção e qualidade do sorgo doce em uma terra lamacenta recém-recuperada. *Ciência Total Meio Ambiente.* **2019.** 654, 541–549. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.127>

6 CONCLUSÃO GERAL

Os resultados deste estudo destacam a importância de um manejo equilibrado entre o superfosfato triplo e a cama de frango. A utilização da cama de frango, mostrou-se igualmente eficaz ao superfosfato triplo, promovendo o crescimento, desenvolvimento e a produtividade da cana-de-açúcar. Essa estratégia apresenta-se como alternativa sustentável e economicamente viável para a fertilização, especialmente em solos eutróficos.

A análise equilibrada das doses de superfosfato triplo e cama de frango mostrou melhorias nos teores de macro e micronutrientes no primeiro ciclo da cultura. No entanto, doses excessivas de ambas as fontes de P foram associadas ao aumento na produtividade e conseqüentemente nos teores foliar de nutrientes, evidenciada pelo aumento da qualidade tecnológica no segundo ciclo da planta. O manejo cuidadoso dessas interações é essencial para otimizar não apenas a quantidade, mas a qualidade da cana-de-açúcar.

O efeito residual da adubação fosfatada com superfosfato triplo e cama de frango das safras subsequentes ressalta a importância de equilibrar as doses de aplicação visando a maximização da produção com a preservação da qualidade da cana-de-açúcar. O principal desafio é alcançar altos níveis de produção sem comprometer a qualidade, levando em conta os aspectos econômicos e ambientais associados ao uso de fertilizantes.

Além disso, a constatação do efeito residual da adubação com cama de frango no desempenho da segunda soqueira da cana-de-açúcar destaca a importância dessa fonte orgânica como alternativa viável para fertilização. O desafio está em equilibrar o estímulo ao crescimento e à produtividade com a manutenção dos padrões desejados de qualidade, levando em conta os aspectos econômicos e ambientais relacionados ao uso de fertilizantes.