

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURAIS E PROTEÇÃO AMBIENTAL
Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente

LEANDRO RENATO GIUNZIONI LANCE

EFEITO DA FERTIRRIGAÇÃO COM VINHAÇA NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DA
CANA-DE-AÇÚCAR, NA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E TEOR DE POTÁSSIO NO
SOLO

Araras SP
2022

Leandro Renato Giunzioni Lance

EFEITO DA FERTIRRIGAÇÃO COM VINHAÇA NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DA
CANA-DE-AÇÚCAR, NA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E TEOR DE POTÁSSIO NO
SOLO

Tese apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Agricultura e Ambiente da
Universidade Federal de São Carlos para
obtenção do título de Mestre em Agricultura
e Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Rubismar Stolf
Coorientador: Vinicius Bof Bufon

Araras SP

2022

Lance, Leandro Renato Giunzioni

Efeito da fertirrigação com vinhaça no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar, na condutividade elétrica e teor de potássio no solo / Leandro Renato Giunzioni
Lance – 2022.
36f.

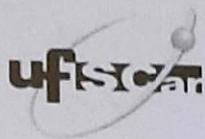
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Araras, Araras
Orientador (a): Rubismar Stolf
Banca Examinadora: Claudinei Fonseca Souza, Fernando Campos Mendonça, Vinicius Boff Bufon
Bibliografia

1. Fertirrigação com vinhaça. 2. Irrigação em cana-de-açúcar. 3. Efeitos da salinidade na cana-de-açúcar. I. Lance, Leandro Renato Giunzioni. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Helena Sachi do Amaral - CRB/8
7083



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Leandro Renato Giunzioni Lance, realizada em 02/12/2022.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Rubismar Stolf (UFSCar)

Prof. Dr. Claudinei Fonseca Souza (UFSCar)

Prof. Dr. Fernando Campos Mendonça (USP)

Prof. Dr. Vinicius Boff Bufon (CNPMA)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente.

Dedico este trabalho à minha família.

AGRADECIMENTO

Agradeço a todos que apoiaram na realização deste sonho. Aos meus pais, irmãos e esposa que sempre me instigaram a buscar qualificação e aprimorar meus conhecimentos. As minhas filhas que abdicaram de minutos preciosos de atenção. Ao meu irmão Luciano pelo apoio nos momentos de estudo. Aos Professores Dr. José Geanini Peres e Dr. Douglas Bizari pelos ensinamentos de irrigação, ao Professor Dr. Claudinei Fonseca pelo incentivo e apoio nos momentos de dúvida. Ao meu orientador Professor Dr. Rubismar Stolf e meu coorientador Vinicius Bufon por acreditarem na minha capacidade de realizar atividades do mestrado associadas as atividades profissionais. A engenheira agrônoma Dra. Raquel Boschi pelo apoio e ensinamentos na análise estatística e formatação desta dissertação. A usina e o produtor rural que aceitaram ceder suas áreas e equipes para o desenvolvimento do trabalho, representados nas pessoas dos senhores Mauricio Correa e João Miguel, que juntos com as equipes de trabalhadores não pouparam esforços para coleta e realização das análises físicas dos experimentos. A empresa NaanDanJain na pessoa do senhor Antônio Alfredo Teixeira Mendes que autorizou a realização deste mestrado concomitante as minhas atividades profissionais. Ao Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de São Carlos, local onde sempre me sentirei em casa e que sempre buscarei retribuir os conhecimentos ali adquiridos.

RESUMO

A utilização da vinhaça como fonte de potássio para a cana-de-açúcar traz importante economia na utilização de fertilizantes, além de ser uma destinação adequada ao resíduo da produção sucroenergética. Apesar disso, sua utilização em períodos de baixa extração de potássio pode comprometer o desenvolvimento inicial da cultura em função da elevação da salinidade do solo. Além disso, pode ocorrer lixiviação do potássio, contaminando o solo e o lençol freático. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da aplicação localizada de vinhaça no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar, na salinidade do solo e na lixiviação do potássio. Para isso, foi conduzido um experimento em duas áreas com solos de diferentes texturas, sendo a primeira área na Fazenda Santa Rita (SR), Pirassununga – SP, com solo de textura grossa (arenoso), e a segunda na Fazenda Batatais (BT), Batatais – SP, com solo de textura fina (argiloso). O experimento foi realizado em diferentes períodos para cada área, buscando as condições extremas de disponibilidade hídrica para a planta. Na SR o experimento foi realizado em época de baixa pluviosidade e na BT, em período de elevada pluviosidade. As variáveis medidas foram a condutividade elétrica (CE) na camada de 0-40 cm e o teor de potássio (camadas de 0-40 cm e 75-85 cm), ambas no solo; e o desenvolvimento inicial da cana, por meio do número de perfilhos e da biomassa fresca das plantas. Amostras de solo foram coletadas em três períodos diferentes, em função da data de aplicação dos tratamentos (1 dia antes, 1 dia depois e 30 dias depois), sendo eles: (i) aplicação localizada de vinhaça (Vlocal); (2) aplicação de vinhaça em área total (Vtotal); (3) aplicação de água localizada (W); e (4) testemunha (T). Para avaliar a lixiviação de potássio foram coletadas amostras na camada do solo de 75 a 85 cm de profundidade, 75 dias após a aplicação dos tratamentos. Na SR ocorreu elevação da CE e do teor de potássio nas camadas 0 a 40 cm, sendo que essa elevação se manteve 30 dias após a aplicação dos tratamentos. Nessa área houve redução na quantidade de perfilhos e de biomassa fresca no tratamento 1 (Vlocal). Na BT houve elevação da CE na camada 0 a 40 cm um dia após a aplicação dos tratamentos, porém após 30 dias já não apresentava diferença na camada 0 a 20 cm. Nessa área não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos no que se refere ao desenvolvimento inicial. Em ambas as áreas, não houve lixiviação de potássio para a camada 75 a 85 cm em nenhum tratamento. Conclui-se que a aplicação localizada de vinhaça pode elevar a salinidade do solo onde se desenvolve o sistema radicular da cana em seu desenvolvimento inicial. Essa elevação de salinidade por um período superior a 30 dias foi suficiente para reduzir o desenvolvimento inicial da cultura. A ausência de aplicação de potássio não prejudicou o desenvolvimento inicial da cana em nenhuma das áreas. A aplicação

localizada de vinhaça nos ambientes avaliados não apresentou risco de lixiviação, porém recomenda-se novos estudos em ambientes com solo de textura arenosa e elevada pluviosidade.

Palavras-chave: Irrigação. Fertilização. Lixiviação.

ABSTRACT

Using vinasse as a source of potassium for sugarcane is important to save the use of fertilizers and an appropriate destination for that residue of sugarcane production. Despite this, its use in periods of low potassium extraction can compromise the initial development of the crop due to the increase in soil salinity. Potassium leaching can also occur, contaminating the soil and groundwater. This study aimed to evaluate the effect of localized vinasse application on the initial development of sugarcane, soil salinity, and potassium leaching. An experiment was conducted in two areas with different soil textures, the first at Santa Rita Farm (SR), Pirassununga - SP, on sandy soil, and the second one at Batatais Farm (BT), Batatais - SP, on clayey soil. The experiment was carried out in different periods for each area, looking for extreme soil water availability for the crop. In SR, the field trial was carried out in a period of low rainfall; in BT, in a period of high rainfall. We measured soil and plant parameters to analyze the results: for the soil, electrical conductivity (0-40 cm), and potassium content (0-40 cm and 75-85 cm); for the crop's early development, the number of tillers and the fresh matter weight. Soil samples were collected in three different periods, depending on the date of application of the treatments (1 day before, 1 day after, and 30 days after), namely: (i) localized application of vinasse (Vlocal); (2) application of vinasse in the total area (Vtotal); (3) application of localized water (W); and (3) control (T). To evaluate the potassium leaching, samples were collected in the soil layer of 75-85 cm, 75 days after the application of the treatments. In the SR, there was an increase in electrical conductivity and potassium content in the layers 0 to 40 cm, and this increase was maintained after 30 days of application of the treatments. In this area, there was a reduction in the amount of tiller and green mass in the Vlocal. In BT, there was an increase in salinity in layer 0 to 40 cm one day after the application of the treatments, but after 30 days, the salinity no longer showed any difference in layer 0 to 20 cm. In this area, no significant difference was observed in the initial development of sugarcane in any treatment. There was no leaching of potassium to the layer 75 to 85 cm in any treatment of the two areas. It is concluded that the localized application of vinasse can increase the salinity in the soil layer, where the root system of the sugarcane develops in its initial development. This increase in salinity for a period longer than 30 days was enough to reduce the initial development of the crop. The non-application of potassium did not affect the initial development of sugarcane in any of the areas. The localized application of vinasse in the evaluated environments did not present a risk of leaching, but further studies are recommended in sites with sandy-textured soil and high rainfall.—

Keywords: Irrigation. Fertilization. Leaching.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	1
3 MATERIAL E MÉTODOS	3
3.1 Caracterização da área de estudo	3
3.2 Design do Experimento	5
3.3 Análise dos dados	8
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	8
4.1 ÁREA FAZENDA SANTA RITA (SR).....	9
4.1.1 Teor de potássio na camada 0 a 20 cm de profundidade	9
4.1.2 Teor de potássio na camada 20 a 40 cm de profundidade.....	10
4.1.3 Teor de potássio na camada 75 a 85 cm de profundidade.....	12
4.1.4 Condutividade elétrica na camada 0 a 20 cm de profundidade.....	12
4.1.5 Condutividade elétrica na camada 20 a 40 cm de profundidade.....	14
4.1.6 Número de perfilhos e biomassa fresca	15
4.2 ÁREA FAZENDA BATATAIS (BT)	16
4.2.1 Teor de potássio na camada 0 a 20 cm de profundidade	16
4.2.2 Teor de potássio na camada 20 a 40 cm de profundidade	17
4.2.3 Teor de potássio na camada 75 a 85 cm de profundidade	18
4.2.4 Condutividade elétrica na camada 0 a 20 cm de profundidade	18
4.2.5 Condutividade elétrica na camada 20 a 40 cm de profundidade	20
4.2.6 Número de perfilhos e biomassa fresca	21
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	21
6 CONCLUSÕES	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

1 INTRODUÇÃO

Um dos subprodutos da produção de etanol é a vinhaça, rica em potássio, com aproximadamente 6 kg m^{-3} . É tradicionalmente aplicada nos canaviais, tanto para aumentar a produtividade agrícola como para evitar que chegue aos corpos hídricos. A elevação dos preços dos fertilizantes químicos tradicionais, como o cloreto de potássio, torna este subproduto cada vez mais importante no planejamento nutricional das lavouras canavieiras.

Para aumentar a área atendida com aplicação de vinhaça, os produtores têm substituído o método tradicional de aplicação do produto, através de equipamentos de irrigação chamados carretéis enroladores, por aplicações em menores volumes, cerca de $30 \text{ m}^3/\text{ha}$, utilizando caminhões para distribuir o produto com jatos dirigidos na linha de plantio. Essa operação é denominada aplicação localizada de vinhaça. A ampliação das áreas que recebem vinhaça via irrigação localizada deve ser acompanhada de estudos que embasem os procedimentos técnicos e avaliem os efeitos agrícolas e ambientais dessa tecnologia. Apesar de reduzir o volume de vinhaça aplicada por hectare, o método concentra este volume em uma pequena área, a linha de plantio. Essa aplicação localizada de vinhaça pode causar aumento momentâneo da salinidade do solo e aumentar o risco de lixiviação de nutrientes móveis, principalmente o potássio. Por isso, é importante que estudos sobre o tema sejam realizados, de modo a reduzir tais riscos.

Neste estudo, o objetivo geral foi avaliar os efeitos da aplicação localizada de vinhaça no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar, em comparação com o método tradicional de aplicação. Os objetivos específicos foram avaliar, após a aplicação dos tratamentos: 1) a condutividade elétrica do solo na camada 0 a 20 cm e 20 a 40 cm; 2) o teor de potássio do solo nas camadas 0 a 20 cm, 20 a 40 cm e 75 a 85 cm ; 3) o perfilhamento da cana-de-açúcar; 4) a produção de biomassa fresca de cana-de-açúcar.

A hipótese geral é que a aplicação localizada de vinhaça aumenta a salinidade do solo e pode prejudicar o desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar, e acarretar na lixiviação de potássio abaixo da profundidade efetiva das raízes da cultura.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A cana-de-açúcar é um dos principais cultivos do Brasil, na safra 2021/2022 a área colhida foi de 8,3 milhões de hectares. O setor sucroenergético brasileiro produz açúcar, energia elétrica e etanol. Nessa mesma safra, os volumes de etanol, etanol anidro e etanol hidratado totalizaram 30 bilhões de litros, sendo 40% etanol anidro e 60% de etanol hidratado (CONAB, 2022).

A vinhaça é o resíduo mais abundante da produção de etanol, gerada em grande quantidade. Para cada litro de etanol produzido são gerados, em média, 12 litros de vinhaça (NETO, 2019). Portanto, na safra 2021/2022 foram gerados 360 bilhões de litros de vinhaça.

A produção de álcool a partir da cana-de-açúcar iniciou-se no Brasil em 1925, sendo ampliada e consolidada em 1938 com a Lei nº 737, que regulamentava a mistura do etanol na gasolina, e com a criação do IAA – Instituto do Açúcar e Álcool (BRASIL, 1933).

Somente em 1978, a Portaria nº 323 do Ministério do Interior, proibiu o lançamento de vinhoto (vinhaça) em coleções hídricas (BRASIL, 1978). Atualmente, a aplicação de vinhaça deve seguir, em âmbito nacional, a resolução do CNRH nº15 de 1 de janeiro de 2001 (BRASIL, 2001), e a Portaria do Ministério da Saúde, nº518/04 de 25 de março de 2004 (BRASIL 2004).

No estado de São Paulo, a regulamentação e fiscalização da aplicação de vinhaça é realizada pela Companhia Estadual do Meio Ambiente – Cetesb, sendo que as Decisões de Diretoria nº 195-2005 – E e nº 103/2007/C/E fornecem, respectivamente, os valores orientadores para solo e águas subterrâneas no estado de São Paulo, e os procedimentos para gerenciamento de áreas contaminadas (CETESB, 2005, 2007).

A fim de dispor sobre os critérios e procedimentos para a aplicação de vinhaça, gerada pela atividade sucroalcooleira no processamento de cana-de-açúcar no solo do estado de São Paulo foi elaborada a Norma Técnica P4.231 “Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola (CETESB, 2015).

Apesar da notória evolução nas regras e procedimentos para avaliação dos impactos ambientais da aplicação de vinhaça nos solos agrícolas, fica evidente que as normas em vigência foram elaboradas para a aplicação de vinhaça da maneira tradicional, com aspersores e em área total. Portanto, tais normas não consideram a área efetiva de aplicação da vinhaça localizada, nem os procedimentos de coleta de amostras de solo para essas áreas. Outro ponto não considerado nas diretrizes de elaboração dos planos de aplicação de vinhaça é a parte do ciclo do cultivo em que a cultura da cana-de-açúcar é realmente exigente em nutrientes. Como se pode observar no estudo de Santana et al. (2007), a maior parte da extração de potássio pela cultura ocorre na fase final do ciclo fisiológico, com aproximadamente 12 meses do plantio ou da rebrota da cana-de-açúcar. Em áreas com elevada produtividade, 180 kg ha⁻¹ de potássio são extraídos apenas a partir dos 168 dias após o plantio. Assim, como a vinhaça é aplicada na fase inicial do ciclo de cultivo, até 30 dias após o plantio, há risco de lixiviação do potássio devido à sua alta mobilidade no solo. Esse risco é aumentado com a aplicação localizada.

Além do risco ambiental, a aplicação de potássio em grande quantidade eleva a salinidade do solo, já que na fase inicial do ciclo ele é pouco requerido. Segundo Santana

(2007), essa salinidade prejudica o desenvolvimento da cultura, pois a presença de sais provenientes da vinhaça aumenta o potencial osmótico da solução do solo e dificulta a absorção de água pela planta, aumentando a severidade do déficit hídrico para a cultura. Tal fato ganha importância pela alta frequência de eventos de déficit hídrico na fase inicial do ciclo, nas principais regiões produtoras de cana-de-açúcar.

Contrapondo as restrições de desenvolvimento que podem ser ocasionadas pela elevação da condutividade elétrica, a irrigação com água tem-se mostrado uma importante ferramenta para elevação da produtividade agrícola dos canaviais e garantia da qualidade do plantio e da produção desse cultivo (DALRI et al., 2008; DIAS & SENTELHAS, 2019). A irrigação tem-se mostrado necessária para viabilizar a atividade agrícola (ADAMI et al., 2012; MONTEIRO & SENTELHAS, 2014; SILVA et al., 2014). Diferentemente de outros cultivos de importância econômica, as novas condições de cultivo dos canaviais acarretam em baixas produtividades em cultivo de sequeiro (DALRI et al., 2008; PERIN et al., 2019), pois os custos fixos da atividade (arrendamento, implantação do canavial) e o custo de frete são os principais fatores de elevação dos custos produtivos.

A área irrigável no Brasil é de 55 milhões de hectares (ANA, 2022) e a área atualmente irrigada é de 8,2 milhões de hectares. Portanto, o País tem um elevado potencial de crescimento do uso de irrigação. A irrigação da cana-de-açúcar pode trazer ganhos econômicos, sociais e ambientais, uma vez que reduz o custo de produção e mantém viável essa importante atividade econômica, que é a principal fonte de receita e emprego em diversos municípios brasileiros. Além disso, a irrigação pode reduzir a área cultivada, os custos de logística do plantio à colheita (menor consumo de óleo diesel) e servir como veículo para a aplicação fracionada e no momento de maior requerimento dos nutrientes presentes na vinhaça, o final do ciclo da cultura (ANA, 2022).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

O experimento foi conduzido em duas áreas com cultivo de cana-de-açúcar, sendo a primeira área localizada na Fazenda Santa Rita (SR), município de Pirassununga – SP, e a segunda, na Fazenda Batatais (BT), município de Batatais – SP. Foram selecionadas áreas nas quais a primeira colheita da cana já havia sido realizada, feita em 12/03/2021 na SR e em 24/08/2021 na BT. As variedades de cana-de-açúcar plantadas na SR e na BR foram, respectivamente, a RB966928 e a RB005014.

Segundo a classificação do climática de Köppen, o clima de Pirassununga e Batatais é do tipo Cwa (ALVARES et al., 2014), apresentando uma estação seca no inverno (maio a outubro) e outra chuvosa no verão (novembro a abril). A temperatura média é de aproximadamente 21°C, com pluviosidade média anual de cerca de 1400 mm.

Os atributos físicos e químicos do solo das duas áreas experimentais estão apresentados nas tabelas 1 e 2, respectivamente. As análises foram realizadas de acordo com Raij et al. (2001).

Tabela 1 – Atributos físicos dos solos das áreas experimentais (Batatais e Santa Rita).

Dados	Batatais	Santa Rita
Data de coleta da amostra	07/09/2021	23/03/2021
Ambiente*	Ambiente C	Ambiente D
CC%, PMP%	52%, 28%	36%, 22%
Areia Fina (g kg ⁻¹)	78	550
Areia Grossa (g kg ⁻¹)	46	260
Areia Total (g kg ⁻¹)	124	810
Argila (g kg ⁻¹)	529	142
Silte (g kg ⁻¹)	347	48
Classe Textural	Argilosa	Arenosa

CC: Capacidade de Campo; PMP: Ponto de Murcha Permanente. *Ambiente de produção segundo classificação da própria Usina Batatais. Ambiente C: potencial de produtividade médio. Ambiente D: potencial de produtividade médio/baixo.

Tabela 2 – Atributos químicos dos solos das áreas experimentais (Batatais e Santa Rita).

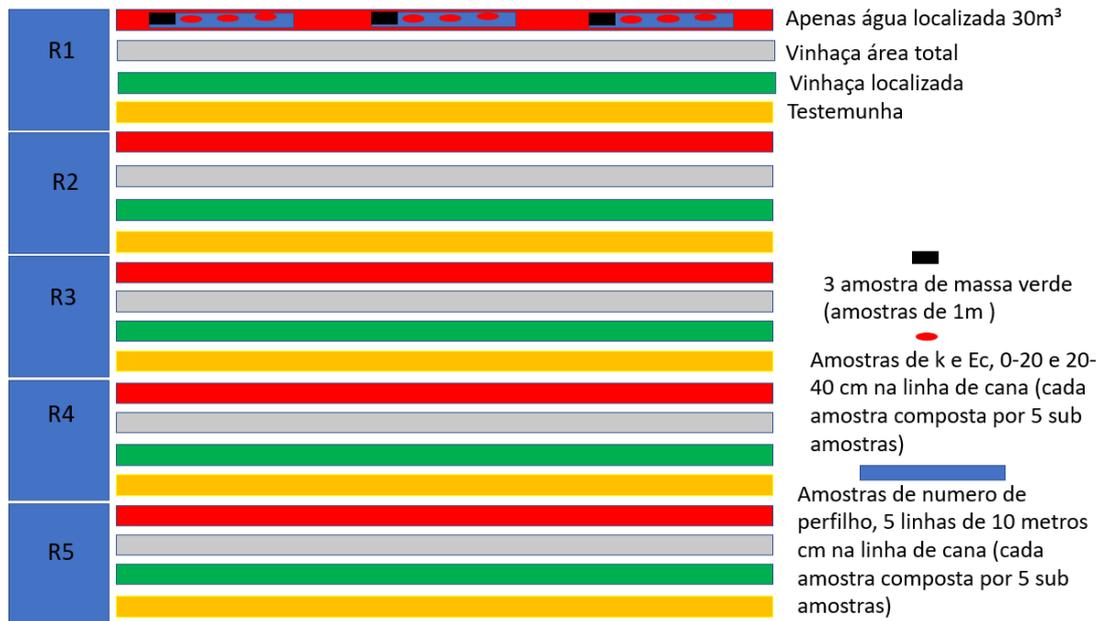
Dados	Batatais	Santa Rita
pH _{CaCl2}	5,2	4,8
P _{Resina} (mg dm ⁻³)	20,0	5,0
K ⁺ (mmol _c dm ⁻³)	2,8	1,9
Ca ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	30,0	18,0
Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	8,0	6,0
Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³)	< 1	< 1

H + Al (mmol _c dm ⁻³)	26,0	35,0
S-SO ₄ ⁻² (mg dm ⁻³)	19,0	14,0
Soma de Bases – SB (mmol _c dm ⁻³)	40,8	30,4
Capacidade de Troca Catiônica – CTC (mmol _c /dm ³)	66,8	44,2
Saturação de Bases – V%	61,1	42,1
Saturação de Alumínio – m%	1,0	1,0
%K na CTC	4,2	2,9
%Ca na CTC	45,3	46,0
%Mg na CTC	12,5	12,9
B (mg dm ⁻³)	0,29	0,15
Cu (mg dm ⁻³)	2,70	1,90
Mn (mg dm ⁻³)	2,40	2,10
Fe (mg dm ⁻³)	53,00	21,00
Zn (mg dm ⁻³)	1,10	0,90
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	0,071	0,065

3.2 Design do Experimento

A implantação dos experimentos foi feita em talhões de 9 ha, com 200 linhas de 300 metros espaçadas de 1,5 m entre si. O experimento foi conduzido sob delineamento em blocos casualizados, com 4 tratamentos e 5 repetições. As parcelas foram instaladas nas 160 linhas centrais e cada parcela foi composta por 8 linhas (Figura 1). Os tratamentos foram: T1 - aplicação localizada de vinhaça (Vlocal); T2 - aplicação de vinhaça em área total (Vtotal); T3 - aplicação localizada de água (W); e T4 - testemunha (T), sem aplicação de vinhaça e água.

Figura 1 – Croqui do experimento realizado em Santa Rita e Batatais e localização das amostras coletadas.



A aplicação localizada da vinhaça foi feita com um caminhão que aplicava em 8 linhas ao mesmo tempo. A vinhaça em área total foi aplicada utilizando um difusor, que espalhou o produto em área total. O volume de vinhaça localizada e de água localizada foi de $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, pois a vinhaça utilizada apresentava cerca de 6 kg m^{-3} de potássio. Com esse volume aplicado atingiu-se os 180 kg ha^{-1} de potássio, que é o limite estabelecido pela CETESB para aplicação de vinhaça em áreas com CTC saturada de potássio. Devido às diferenças de classe textural dos solos, a aplicação formou uma faixa úmida de 43 cm na Batatais e 31 cm na Santa Rita.

A condução do experimento foi feita em diferentes períodos para cada área, buscando as condições extremas (máxima e mínima) de disponibilidade hídrica para a planta. Na SR o experimento foi realizado em época de baixa pluviosidade (março a julho – mínima disponibilidade hídrica) e na BT em período de elevada pluviosidade (agosto a dezembro – máxima disponibilidade hídrica). Em cada área foi instalado um pluviômetro para registro da precipitação pluvial mensal, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Precipitação pluvial mensal das áreas experimentais Batatais e Santa Rita (milímetros por mês).

Batatais	Santa Rita
24 a 31 de agosto: 0 mm	10 a 31 março: 35 mm
Setembro: 47,2 mm	Abril: 0 mm
Outubro: 299,4 mm	Maior: 3,5 mm
Novembro: 198,4 mm	Junho: 2,5 mm
Dezembro: 154,6 mm	Julho: 0 mm

 Total: 652,4 mm

 Total: 41,0 mm

Amostras de solo foram coletadas em três períodos diferentes, em função da data de aplicação dos tratamentos: um dia antes (D-1); um dia depois (D+1); 30 dias depois (D+30); e 75 dias depois (D+75). A coleta das amostras de solo foi feita em três pontos (início, meio e fim) das cinco linhas centrais, e cada amostra foi composta por cinco subamostras (Figura 1).

A contagem de perfilhos foi realizada no campo, em três pontos (início, meio e final das linhas), contando os perfilhos em 20 metros de linhas por amostra, marcada com um barbante utilizado como gabarito. No total, foram 5 linhas de plantas, com 3 pontos de 20 metros cada, totalizando 15 amostras por parcela.

As amostras de biomassa fresca foram coletadas no primeiro metro de cada linha das amostras de perfilhos, sendo o início e fim determinados pelo gabarito de barbante.

As amostras de solo foram levadas para o laboratório DMLabe, para análise do teor de potássio nas camadas 0-20 cm; 20-40 cm e 75-85 cm e da condutividade elétrica nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm. A coleta de 75-85 cm foi feita no momento D+75 para avaliar a lixiviação de potássio. As amostras de biomassa fresca foram pesadas no campo com balança de precisão, retirando-se subamostras para determinar o percentual de umidade médio. As datas de cada uma das operações e o intervalo entre elas, estão representados na Tabela 4.

Tabela 4 – Principais datas e eventos realizados nas áreas experimentais Batatais e Santa Rita.

Áreas:	Batatais:	Santa Rita:
Talhão	49	A18
Data do plantio:	30/11/2020	10/02/2020
Data da última colheita:	24/08/2021	12/03/2021
Data da amostragem inicial (D-1)	07/09/2021	23/03/2021
Dias entre a amostragem (D-1) e a colheita:	14	11
Data da aplicação dos tratamentos:	29/09/2021	13/04/2021
Dias entre a aplicação dos tratamentos e a colheita	36	32
Data da amostragem (D+1):	01/10/2021	14/04/2021
Dias entre a amostragem D+1 e a colheita:	38	33
Dias entre a amostragem D+1 e a aplicação:	2	1
Data da amostragem (D+30):	04/11/2021	18/05/2021
Dias entre a amostragem (D+30) e a colheita:	72	67
Dias entre a amostragem (D+30) e a aplicação:	36	35
Data da amostragem de produtividade e perfilhos	09/12/2021	25/06/2021
Dias entre produtividade e perfilhos e a colheita:	107	105
Dias entre produtividade e perfilhos e a aplicação:	71	73
Data da amostragem (D+75):	16/12/2021	02/07/2021

Dias entre a amostragem (D+75) e a colheita:	114	112
Dias entre a amostragem (D+75) e a aplicação:	78	80

(D-1): um dia antes da aplicação dos tratamentos; (D+1): um dia depois da aplicação dos tratamentos; (D+30): 30 dias depois da aplicação dos tratamentos; (D+75): 75 dias depois da aplicação dos tratamentos;

3.3 Análise dos dados

Na análise estatística dos dados foi feita a comparação de efeitos dos tratamentos para cada variável avaliada (teor de potássio, condutividade elétrica, número de perfilhos e biomassa fresca), em cada período de avaliação. Na ocorrência de interação entre período de aplicação e tratamento, os dados foram desmembrados e as avaliações foram conduzidas para cada período separadamente.

Em todas as análises foram verificadas, a normalidade dos resíduos por meio do teste de Shapiro-Wilk, e a homogeneidade das variâncias, por meio do teste de Levene, para garantir a aplicação correta dos testes (paramétrico ou não-paramétrico). Quando os resíduos não foram normais e/ou a distribuição das variâncias não foi homogênea, foi realizada a transformação dos dados pelo método Box-Cox (BOX & COX, 1964).

Quando a transformação resolveu o problema, foi aplicado o teste ANOVA e o teste de Tukey (95%) para comparações pareadas.

Quando a transformação não resolveu, foi aplicado o teste não-paramétrico ANOVA robusta (MAIR & WILCOX, 2020) e a comparação foi feita pelo teste de Wilcox (WILCOX, 2017).

Os gráficos foram feitos com auxílio do pacote *ggplot2* (WICKHAM, 2016). Todas as análises foram feitas em ambiente R (R CORE TEAM, 2020).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

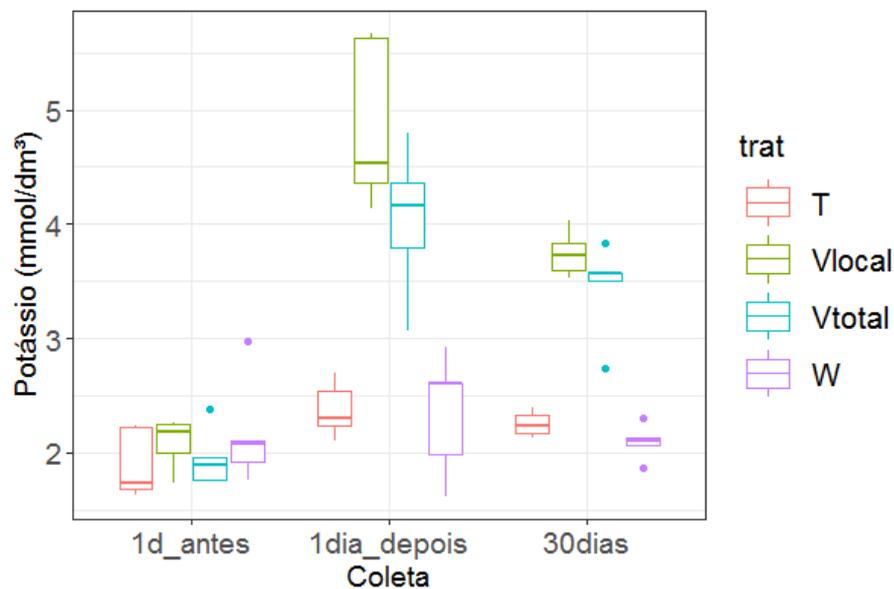
Os resultados estão apresentados para as quatro variáveis avaliadas: condutividade elétrica no solo (CE), teor de potássio no solo (K), número de perfilhos (NP) e biomassa fresca (BF). As profundidades e as áreas avaliadas (Batatais e Santa Rita), subdividem a apresentação dos dados nos itens a seguir. Os quatro tratamentos – testemunha, aplicação de água localizada, vinhaça aplicada em área total e vinhaça localizada – estão apresentados pelas siglas (T, Vlocal, W, Vtotal), respectivamente.

4.1 ÁREA FAZENDA SANTA RITA (SR)

4.1.1 Teor de potássio na camada 0 a 20 cm de profundidade

O teor de potássio na camada de 0-20 cm, nos quatro tratamentos para os três períodos de avaliação pode ser visualizado no *boxplot* da Figura 2.

Figura 2 – *Boxplot* dos teores de potássio na camada 0-20 cm, nos diferentes tratamentos: Vtotal: vinhaça em área total; Vlocal: vinhaça localizada; W: água localizada; T: testemunha. Para as coletas realizadas 1 dia antes da aplicação (1d_antes), 1 dia depois (1dia_depois) e 30 dias depois (30dias).



Um dia antes da aplicação das irrigações não foram verificadas diferenças significativas no teor de potássio nas áreas referentes a cada tratamentos, o que indica homogeneidade nas áreas em relação a esse elemento. No entanto, um dia após a aplicação dos tratamentos, a vinhaça localizada (Vlocal) apresentou teor de potássio superior aos demais tratamentos (Tabela 5). Após 30 dias da aplicação, os tratamentos T e W apresentaram teor de potássio inferior aos tratamentos Vlocal e Vtotal. Sendo que entre os tratamentos (T e W) e (Vlocal e Vtotal) não houve diferença significativa (Tabela 5). Estes dados mostram que independente da forma de aplicação da vinhaça, o teor de potássio permaneceu mais elevado em comparação com o teor antes das aplicações, chegando a um valor médio de $3,75 \text{ mmolc dm}^{-3}$ na aplicação localizada (Tabela 5).

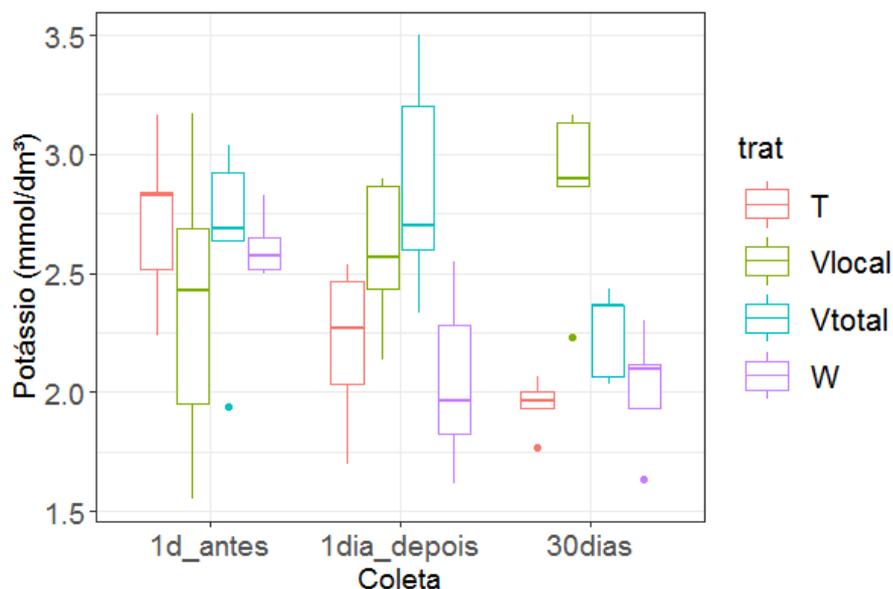
Tabela 5 – Comparação dos valores de potássio no solo na camada de 0 a 20 cm, realizada 1 e 30 dias depois da aplicação dos quatro tratamentos (Vtotal: vinhaça em área total; Vlocal: vinhaça localizada; W: água localizada; T: testemunha).

Tratamento	1 dia após a aplicação				
	Média	DesvPad	Mín.	Máx.	Wilcox
T	2.37	0.24	2.1	2.7	B
Vlocal	4.87	0.73	4.13	5.67	A
Vtotal	4.04	0.65	3.07	4.8	B
W	2.34	0.53	1.62	2.92	B
30 dias após a aplicação					
T	2.25	0.11	2.13	2.4	B
Vlocal	3.75	0.2	3.53	4.03	A
Vtotal	3.44	0.42	2.73	3.83	A
W	2.09	0.16	1.87	2.3	B

4.1.2 Teor de potássio na camada 20 a 40 cm de profundidade

Os resultados da análise do teor de potássio na camada de 20-40 cm, nos quatro tratamentos e nos três períodos de avaliação, pode ser visualizado no *boxplot* da Figura 3. Na comparação dos dados pela ANOVA robusta houve interação significativa entre os períodos de avaliação e os tratamentos, sendo necessário, portanto, o desmembramento dos dados por período de avaliação.

Figura 3 – *Boxplot* dos teores de potássio na camada 20-40 cm, nos diferentes tratamentos: Vtotal: vinhaça em área total; Vlocal: vinhaça localizada; W: água localizada; T: testemunha. Para as coletas realizadas 1 dia antes da aplicação (1d_antes), 1 dia depois (1dia_depois) e 30 dias depois (30dias).



Após 1 dia, da aplicação dos tratamentos, W apresentou o menor teor de potássio, diferindo significativamente de T (Tabela 6). Tal redução é consequência da movimentação do potássio no solo devido à aplicação da água em elevada intensidade. Após 30 dias da aplicação, os tratamentos Vlocal, Vtotal e W apresentavam teores superiores de potássio em relação a T.

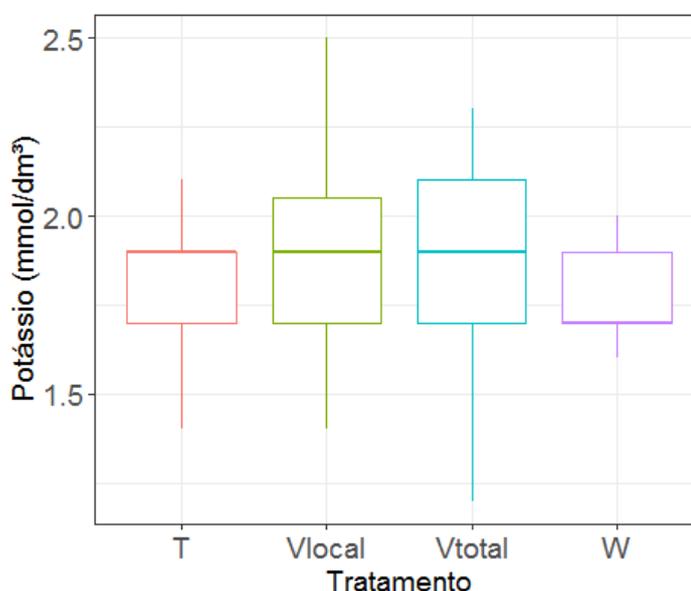
Tabela 6 – Comparação dos valores de potássio no solo na camada de 20 a 40 cm, realizada 1 e 30 dias depois da aplicação dos quatro tratamentos (Vtotal: vinhaça em área total; Vlocal: vinhaça localizada; W: água localizada; T: testemunha).

1 dia após a aplicação					
Tratamento	Média	DesvPad	Mín.	Máx.	Wilcox
T	2.2	0.34	1.7	2.53	A
Vlocal	2.58	0.32	2.13	2.9	AB
Vtotal	2.87	0.47	2.33	3.5	AB
W	2.05	0.37	1.62	2.55	B
30 dias após a aplicação					
Tratamento	Média	DesvPad	Mín.	Máx.	Wilcox
T	1.95	0.11	1.77	2.07	A
Vlocal	2.86	0.38	2.23	3.17	B
Vtotal	2.25	0.19	2.03	2.43	B
W	2.02	0.25	1.63	2.3	B

4.1.3 Teor de potássio na camada 75 a 85 cm de profundidade

A Figura 4 apresenta o *boxplot* dos teores de potássio na camada de 75 a 85 cm, dos quatro tratamentos no período de 75 dias após a aplicação dos tratamentos. Na comparação dos dados pela ANOVA robusta não houve diferença no valor de potássio entre os tratamentos (p -valor $>0,05$), mostrando que a aplicação de vinhaça localizada ou em área total não chegou à camada abaixo do sistema radicular. Essa informação é muito importante, pois a detecção de potássio nessa camada aumentaria o risco de contaminação do solo e do lençol freático.

Figura 4 – *Boxplot* dos teores de potássio na camada 75-85 cm, nos diferentes tratamentos: Vtotal: vinhaça em área total; Vlocal: vinhaça localizada; W: água localizada; T: testemunha.



4.1.4 Condutividade elétrica na camada 0 a 20 cm de profundidade

Anteriormente à aplicação dos tratamentos, a condutividade elétrica do solo (CE) apresentou valores similares na camada de 0-20 cm para todos os tratamentos. Após a aplicação dos tratamentos houve uma elevação no teor de potássio do solo nos locais que receberam vinhaça, tanto localizada quanto em área total (Figura 5, Tabela 7), e o tratamento Vlocal apresentou valores superiores aos demais tratamentos. Aos 30 dias após a aplicação dos tratamentos, na camada 0 a 20 cm, as parcelas que receberam vinhaça localizada ainda apresentavam valor de CE significativamente superior aos demais tratamentos (Figura 5, Tabela 7).

Figura 5 – *Boxplot* da condutividade elétrica do solo na camada 0-20 cm, nos diferentes tratamentos: Vtotal: vinhaça em área total; Vlocal: vinhaça localizada; W: água localizada; T: testemunha. Para as coletas realizadas 1 dia antes da aplicação (1d_antes), 1 dia depois (1dia_depois) e 30 dias depois (30dias).

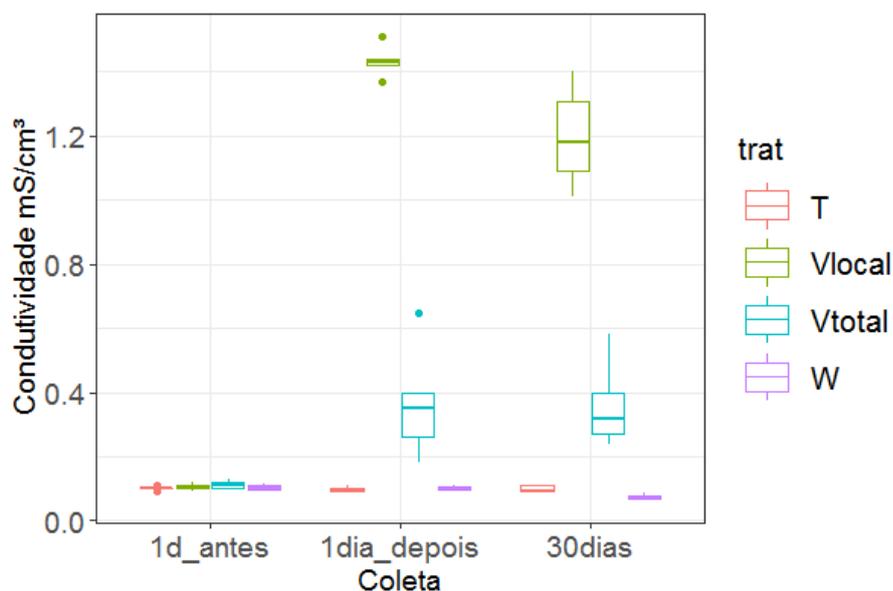


Tabela 7 – Comparação dos valores de condutividade elétrica no solo (dS m^{-1}) na camada de 0 a 20 cm, realizada 1 e 30 dias depois da aplicação dos quatro tratamentos (Vtotal: vinhaça em área total; Vlocal: vinhaça localizada; W: água localizada; T: testemunha).

1 dia após a aplicação					
Tratamento	Média	DesvPad	Mín.	Máx.	Tukey
T	0.1	0.01	0.09	0.11	A
Vlocal	1.43	0.05	1.37	1.51	B
Vtotal	0.37	0.18	0.18	0.65	A
W	0.1	0.01	0.1	0.11	A
30 dias após a aplicação					
Tratamento	Média	DesvPad	Mín.	Máx.	Wilcox
T	0.1	0.01	0.09	0.11	A
Vlocal	1.2	0.16	1.01	1.4	B
Vtotal	0.36	0.14	0.24	0.58	A
W	0.07	0.01	0.07	0.09	A

4.1.5 Condutividade elétrica na camada 20 a 40 cm de profundidade

Após 1 dia da aplicação dos tratamentos, na camada 20 a 40 cm, a condutividade elétrica (CE) diferenciou-se em cada um dos quatro tratamentos, e Vlocal apresentou valor superior aos demais tratamentos, seguido do tratamento Vtotal e T (Figura 6, Tabela 8). O tratamento W apresentou o menor valor de CE. Aos 30 dias após a aplicação dos tratamentos, a CE manteve-se diferente entre os tratamentos, sendo que T e W, apresentaram os menores valores, seguidos por Vtotal e Vlocal, que apresentou o maior valor (Tabela 8).

Figura 6 – *Boxplot* da condutividade elétrica do solo na camada 20-40 cm, nos diferentes tratamentos: Vtotal: vinhaça em área total; Vlocal: vinhaça localizada; W: água localizada; T: testemunha. Para as coletas realizadas 1 dia antes da aplicação (1d_antes), 1 dia depois (1dia_depois) e 30 dias depois (30dias).

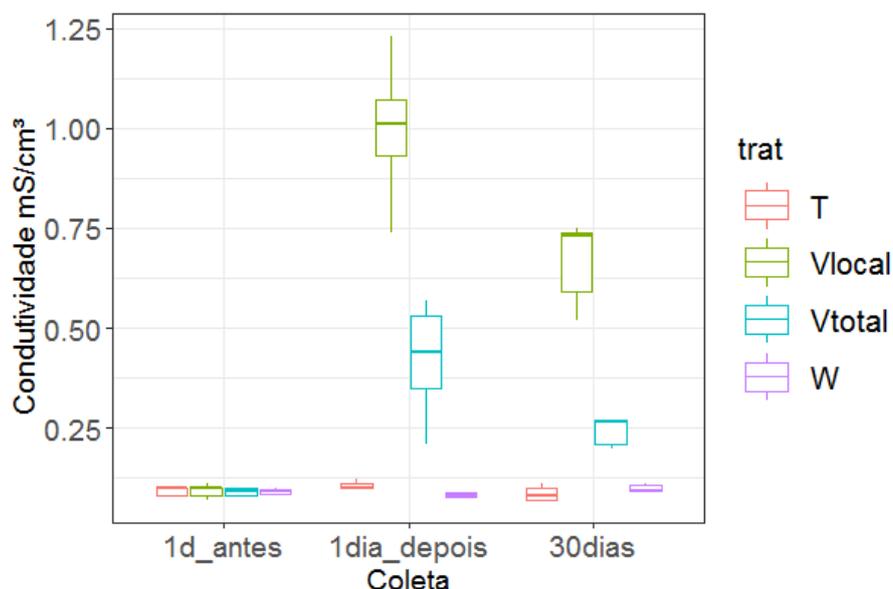


Tabela 8 – Comparação dos valores de condutividade elétrica no solo (dS m^{-1}) na camada de 20 a 40 cm, realizada 1 e 30 dias depois da aplicação dos quatro tratamentos (Vtotal: vinhaça em área total; Vlocal: vinhaça localizada; W: água localizada; T: testemunha).

1 dia após a aplicação					
Tratamento	Média	DesvPad	Mín.	Máx.	Wilcox
T	0.11	0.01	0.1	0.12	C
Vlocal	0.99	0.18	0.74	1.23	A
Vtotal	0.42	0.15	0.21	0.57	B
W	0.08	0.01	0.08	0.09	D
30 dias após a aplicação					

Tratamento	Média	DesvPad	Mín.	Máx.	Wilcox
T	0.08	0.02	0.07	0.11	A
Vlocal	0.67	0.1	0.52	0.75	C
Vtotal	0.24	0.04	0.2	0.27	B
W	0.1	0.01	0.09	0.11	A

4.1.6 Número de perfilho e biomassa fresca

Os tratamentos T, W e Vtotal apresentaram número de perfilhos superior ao tratamento Vlocal (Tabela 9). O tratamento Vlocal apresentou o menor valor de biomassa fresca, sendo que o tratamento Vtotal não diferiu estatisticamente do W, porém, apresentou valor menor que a T (Tabela 9).

O tratamento Vlocal apresentou os maiores valores para CE no período D+1 e D+30 nas camadas 0 a 20 e 20 a 40 cm (Tabela 7 e Tabela 8). Desta maneira pode-se aceitar a hipótese de que a elevação da CE prejudica o desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar, reduzindo o número de perfilhos e a biomassa fresca. Os tratamentos W e T apresentaram teores de potássio menores que o Vlocal nas camadas 0 a 20 e 20 a 40 cm (Tabela 5 e Tabela 6), no entanto, esse teor inferior não prejudicou o desenvolvimento inicial da cana de açúcar no número de perfilhos e na biomassa fresca (Tabela 9).

Tabela 9 – Comparação do número de perfilhos e da biomassa fresca, nos quatro tratamentos (Vtotal: vinhaça em área total; Vlocal: vinhaça localizada; W: água localizada; T: testemunha).

Número de Perfilhos					
Tratamento	Média	Desvio Padrão	Mín.	Máx.	Wilcox
T	139.84	21.35	104	210	A
Vlocal	115.5	12.14	88	142	B
W	137.3	15.29	102	175	A
Vtotal	134.94	12.01	99	161	A
Biomassa fresca (g)					
Tratamento	Média	DesvPad	Mín.	Máx	Wilcox
T	4.25	0.56	3.15	5.15	A
Vlocal	3.2	1.01	1.9	5.6	C
W	4.35	1.17	2.2	7.1	AB
Vtotal	3.84	0.81	2.8	5.9	B

4.2 ÁREA FAZENDA BATATAIS (BT)

4.2.1 Teor de potássio na camada 0 a 20 cm de profundidade

Não houve interação entre tempo e os tratamentos, não sendo necessário a avaliação para cada período separadamente. O teor de potássio foi diferente em cada um dos períodos analisados (Figura 7, Tabela 10), sendo que 1 dia depois da aplicação dos tratamentos tem-se o maior valor e 30 dias depois, o menor valor. Isto indica que a quantidade aplicada de potássio é menor que a utilizada pela planta ou lixiviada para camadas de solos mais profundas.

Houve diferença nos teores entre os tratamentos W e T (Tabela 11). A redução do teor de potássio no tratamento W está ligada à movimentação do nutriente com a água. Os demais tratamentos não se diferenciaram nesta camada de solo.

Figura 7 – *Boxplot* do teor de potássio no solo na camada 0-20 cm, nos diferentes tratamentos: Vtotal: vinhaça em área total; Vlocal: vinhaça localizada; W: água localizada; T: testemunha. Para as coletas realizadas 1 dia antes da aplicação (1d_antes), 1 dia depois (1dia_depois) e 30 dias depois (30dias).

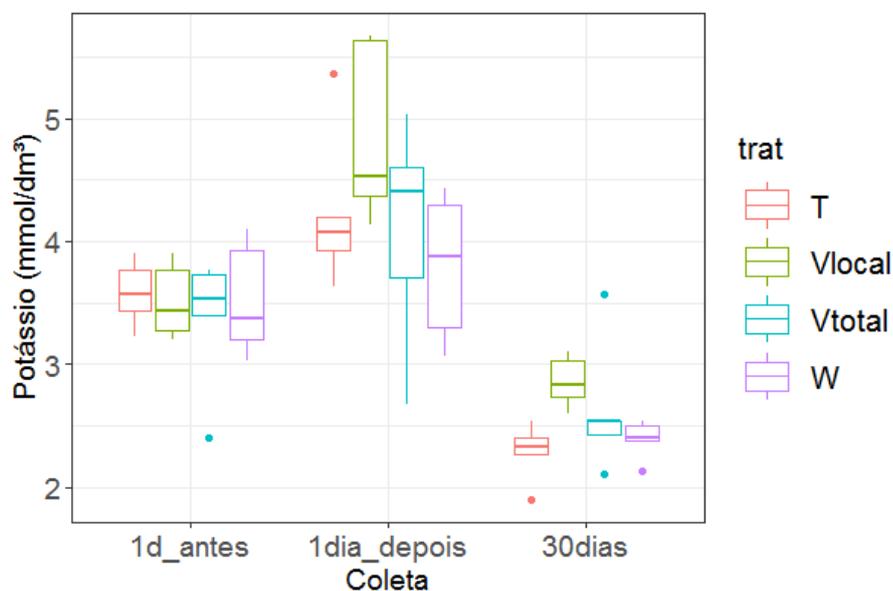


Tabela 10 – Comparação dos valores de potássio no solo na camada de 0 a 20 cm, para três períodos de coleta (1 dia antes da aplicação dos tratamentos, 1 dia depois da aplicação dos tratamentos, 30 dias depois da aplicação dos tratamentos).

Coleta	Média	DesvPad	Min	Max	Tukey
1 dia antes	3.5	0.39	2.4	4.1	B
1 dias depois	4.25	0.79	2.67	5.67	A

30 dias depois	2.54	0.38	1.9	3.57	C
----------------	------	------	-----	------	---

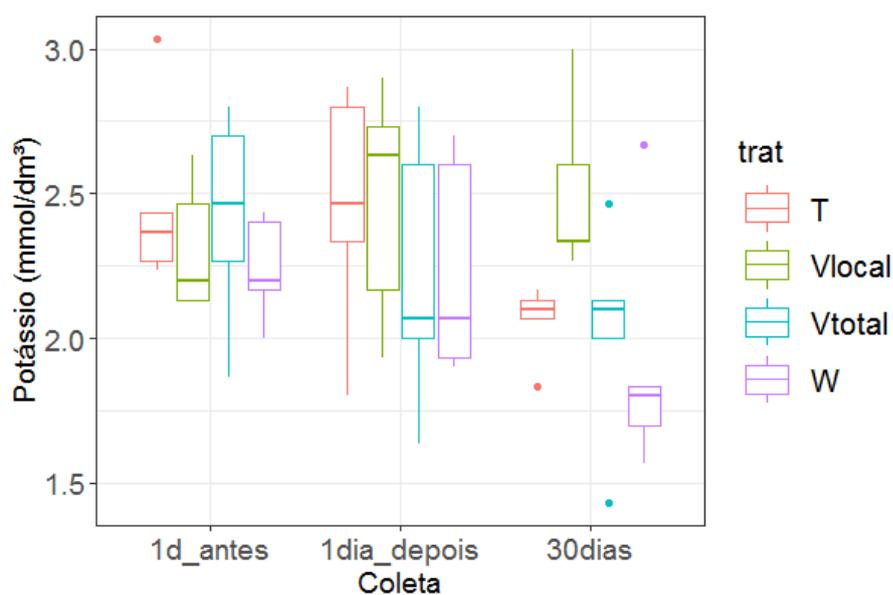
Tabela 11 – Comparação dos valores de potássio no solo na camada de 0 a 20 cm, para os quatro tratamentos (Vtotal: vinhaça em área total; Vlocal: vinhaça localizada; W: água localizada; T: testemunha).

Tratamento	Média	DesvPad	Min	Max	Tukey
T	3.36	0.93	1.9	5.37	A
Vlocal	3.75	0.96	2.6	5.67	AB
Vtotal	3.36	0.89	2.1	5.03	AB
W	3.24	0.76	2.13	4.43	B

4.2.2 Teor de potássio na camada 20 a 40 cm de profundidade

A diferença no teor de potássio na camada de 20 a 40 cm não foi estatisticamente significativa (p -valor $> 0,05$). No entanto, aos 30 dias após a aplicação dos tratamentos observa-se uma tendência de maiores valores no teor de potássio no tratamento Vlocal, e de menores valores no tratamento W (Figura 8).

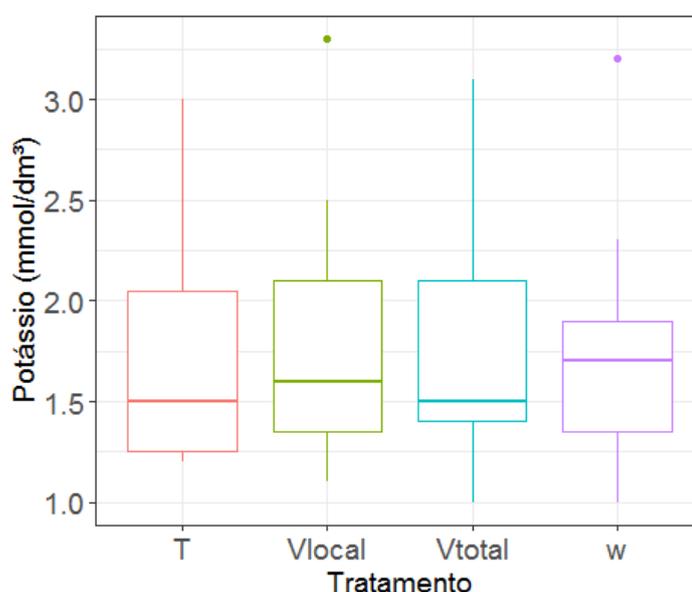
Figura 8 – *Boxplot* do teor de potássio no solo na camada 20-40 cm, nos diferentes tratamentos: Vtotal: vinhaça em área total; Vlocal: vinhaça localizada; W: água localizada; T: testemunha. Para as coletas realizadas 1 dia antes da aplicação (1d_antes), 1 dia depois (1dia_depois) e 30 dias depois (30dias).



4.2.3 Teor de potássio na camada 75 a 85 cm de profundidade

Aos 75 dias após a aplicação dos tratamentos não houve diferenças significativas entre os tratamentos no teor de potássio na camada de 75 a 85 cm ($p\text{-valor} > 0,05$) (Figura 9). Portanto, as aplicações de vinhaça, localizada ou em área total, não elevaram o teor de potássio abaixo da zona radicular do cultivo. Essa informação é significativa por reduzir o risco de contaminação do solo e do lençol freático.

Figura 9 – *Boxplot* dos teores de potássio na camada 75-85 cm, nos diferentes tratamentos: Vtotal: vinhaça em área total; Vlocal: vinhaça localizada; W: água localizada; T: testemunha.



4.2.4 Condutividade elétrica na camada 0 a 20 cm de profundidade

Como a interação entre tempo e tratamentos foi significativa ($p\text{-valor} < 0,05$), as análises foram feitas para cada período. Um dia após a aplicação dos tratamentos a condutividade elétrica foi significativamente maior no tratamento Vlocal (Tabela 12). Os demais tratamentos não se diferenciaram.

Aos 30 dias da aplicação, apesar de ainda manter diferença em relação aos demais tratamentos, a condutividade elétrica no tratamento Vlocal foi reduzida drasticamente em relação ao valor observado 1 dia após a aplicação (Tabela 12, Figura 10)

Figura 10 – *Boxplot* da condutividade elétrica do solo na camada 0-20 cm, nos diferentes tratamentos: Vtotal: vinhaça em área total; Vlocal: vinhaça localizada; W: água localizada; T: testemunha. Para as coletas realizadas 1 dia antes da aplicação (1d_antes), 1 dia depois (1dia_depois) e 30 dias depois (30dias).

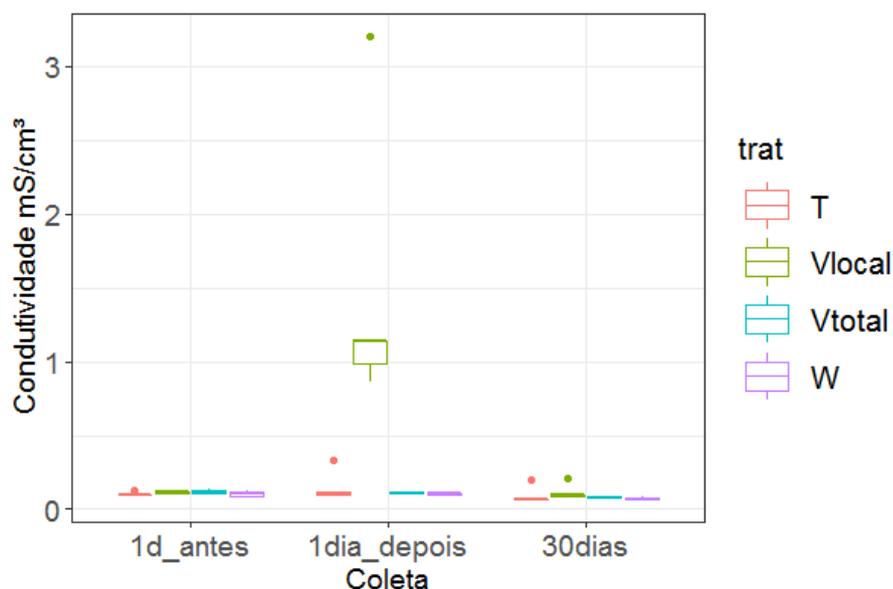


Tabela 12 – Comparação dos valores de condutividade elétrica no solo (dS m^{-1}) na camada de 0 a 20 cm, realizada 1 e 30 dias depois da aplicação dos quatro tratamentos (Vtotal: vinhaça em área total; Vlocal: vinhaça localizada; W: água localizada; T: testemunha).

1 dia depois da aplicação					
Tratamento	Média	DesvPad	Mín.	Máx.	Wilcox
W	0.1	0.01	0.1	0.11	A
T	0.15	0.1	0.1	0.33	A
Vlocal	1.47	0.98	0.86	3.2	B
Vtotal	0.11	0.01	0.1	0.12	A
30 dias depois da aplicação					
Tratamento	Média	DesvPad	Mín.	Máx.	Wilcox
W	0.07	0.01	0.07	0.09	AB
T	0.1	0.06	0.07	0.2	A
Vlocal	0.12	0.05	0.08	0.21	B
Vtotal	0.09	0.01	0.07	0.09	AB

4.2.5 Condutividade elétrica na camada 20 a 40 cm de profundidade

A interação entre tempo e tratamento foi significativa (p -valor $<0,05$), portanto, as análises foram feitas para cada período. Um dia após a aplicação dos tratamentos a condutividade elétrica foi significativamente maior no tratamento Vlocal (Tabela 13, Figura 11), sendo que os demais tratamentos não diferiram entre si.

Após 30 dias da aplicação, a CE do solo não diferiu significativamente entre os tratamentos. Tal fato é diferente do ocorrido na Fazenda Santa Rita, onde a diferença dos valores de CE se manteve por todo período e em todas as profundidades avaliadas (Tabela 8).

Figura 11 – *Boxplot* da condutividade elétrica do solo na camada 20-40 cm, nos diferentes tratamentos: Vtotal: vinhaça em área total; Vlocal: vinhaça localizada; W: água localizada; T: testemunha. Para as coletas realizadas 1 dia antes da aplicação (1d_antes), 1 dia depois (1dia_depois) e 30 dias depois (30dias).

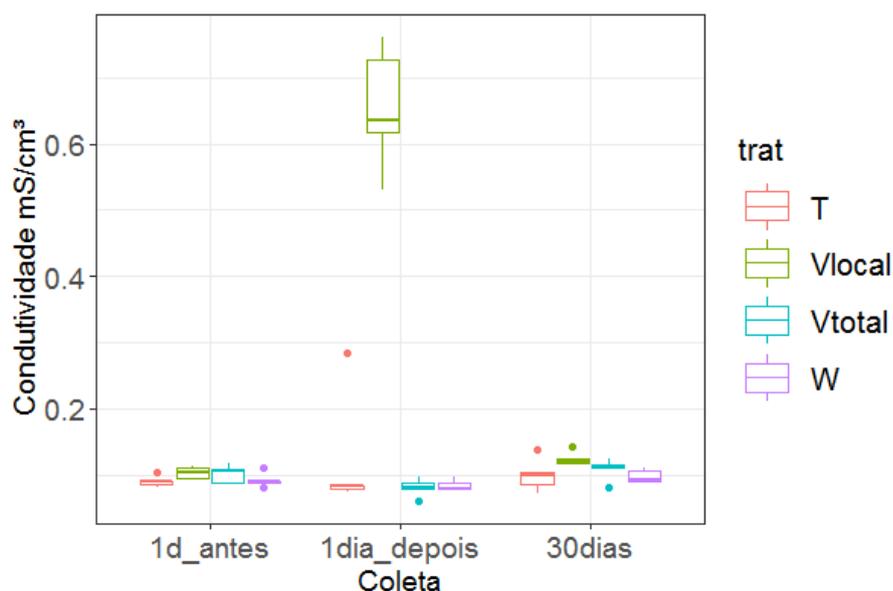


Tabela 13 – Comparação dos valores de condutividade elétrica no solo ($dS\ m^{-1}$) na camada de 20 a 40 cm, realizada 1 dia depois da aplicação dos quatro tratamentos (Vtotal: vinhaça em área total; Vlocal: vinhaça localizada; W: água localizada; T: testemunha).

Tratamento	Média	DesvPad	Mín.	Máx.	Wilcox
W	0.08	0.01	0.08	0.10	A
T	0.12	0.09	0.07	0.28	A
Vlocal	0.65	0.09	0.53	0.76	B
Vtotal	0.08	0.01	0.06	0.10	A

4.2.6 Número de perfilhos e biomassa fresca

Não houve diferença estatisticamente significativa entre os o número de perfilhos para os quatro tratamentos (p-valor > 0,05). A única diferença significativa ocorreu nos valores de biomassa verde entre o tratamento T e Vtotal (Tabela 14).

Tabela 14 – Comparação da biomassa fresca, nos quatro tratamentos (Vtotal: vinhaça em área total; Vlocal: vinhaça localizada; W: água localizada; T: testemunha).

Tratamento	Média	DesvPad	Mín.	Máx.	Tukey
V total	5.63	1.61	2.43	9.26	B
V local	6.2	2.17	1.43	10.95	AB
W	5.95	2.18	1.75	10.82	AB
T	7.01	2.54	2.56	14.3	A

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de vinhaça localizada elevou a condutividade elétrica do solo nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm, nos dois locais avaliados. Em SR, a menor incidência de chuvas possibilitou que esses parâmetros se mantivessem elevados por mais tempo que na área BT.

A maior elevação no tempo em SR é consequência da menor precipitação entre a aplicação e a coleta. Enquanto na BT a precipitação foi de 299 mm, na Santa Rita foi de apenas 3,5 mm.

Na BT, o elevado teor de potássio associado à elevada precipitação pluvial, resultaram em tratamentos sem diferença estatística no teor de potássio, mesmo após a aplicação de 180 kg ha⁻¹ de vinhaça localizada e vinhaça em área total, nos respectivos tratamentos. Na SR, a diferença dos teores de potássio foi significativa nas duas profundidades avaliadas.

Os resultados obtidos demonstram que as aplicações de vinhaça localizada ou em área total não agregaram produtividade nas condições estudadas. Dados semelhantes são apresentados pela ANA (2022). Em SR, a elevação da salinidade influenciou negativamente o desenvolvimento da cana-de-açúcar, reduzindo a biomassa fresca e o número de perfilho. Nos ambientes avaliados não houve lixiviação de potássio abaixo da zona radicular.

A fase fenológica avaliada (inicial) é a que a cultura menos extrai potássio, e os teores de potássio nos tratamentos não prejudicaram os tratamentos que não receberam o nutriente frente aos que receberam. O tratamento com aplicação de vinhaça localizada chegou ao fim do período de análise com maiores teores de potássio em SR, sendo que esse potássio poderá ser utilizado nas próximas etapas do ciclo do cultivo e favorecer uma elevação na produtividade,

compensando as perdas na fase inicial de desenvolvimento. Sugerimos novas avaliações em futuros estudos.

6 CONCLUSÕES

- A aplicação de vinhaça localizada prejudicou o desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar na área onde a condutividade elétrica se manteve elevada por mais tempo.
- A aplicação de vinhaça localizada em solos arenosos com baixa precipitação e em solo argiloso com elevada precipitação não causou lixiviação de potássio para a camada entre 75 e 85 cm de profundidade do solo.
- O não fornecimento de potássio no estágio inicial da cana-de-açúcar não prejudicou o desenvolvimento inicial do cultivo em nenhuma das áreas estudadas.
- A aplicação de vinhaça deve ser postergada sempre que possível e evitada quando houver risco de estresse hídrico após a aplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMI, M.; RUDORFF, B.F.T.; FREITAS, R.M.; AGUIAR, D.A.; SUGAWARA, L.M.; MELLO, M.P. Remote Sensing Time Series to Evaluate Direct Land Use Change of Recent Expanded Sugarcane Crop in Brazil. *Sustainability*, v. 4, p. 574-585, 2012.
- 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*, v. 22, p. 711–728, 2013.
- ANA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. 2ed. Brasília: ANA, 2022.
- BOX, G. E. P; COX, D. R. An analysis of transformations. *JRSS B*, v. 26, p. 211-246, 1964.
- BRASIL. **Lei nº 737**, de 23 de setembro de 1938. Torna obrigatória a adição de álcool anidro à gasolina produzida no país, qualquer que seja o método ou processo de sua fabricação, e dá outras providências. Brasília: [1938]. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/declei/1930-1939/decreto-lei-737-23-setembro-1938-350748-publicacaooriginal-1-pe.html#:~:text=Torna%20obrigat%C3%B3ria%20a%20adi%C3%A7%C3%A3o%20de,fabrica%C3%A7%C3%A3o%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs>>.
- BRASIL. **Portaria 323**, de 29 de novembro de 1978. Proíbe o lançamento, direto ou indireto do vinhoto em qualquer coleção hídrica, pelas destilarias de álcool do país. Brasília: [1978]. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MI/PT0323-291178.PDF>>
- BRASIL. **Portaria n.º 518**, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília: [2004]. Disponível em: <http://189.28.128.100/dab/docs/legislacao/portaria518_25_03_04.pdf>

- BRASIL. **Resolução nº 15** de 01 de janeiro de 2001. Estabelece diretrizes gerais para a gestão de águas subterrâneas. CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos, 2001. (D.O.U. 22/01/2001). Disponível em: <<https://www.diariodasleis.com.br/busca/exibe-link.php?numlink=1-173-34-2001-01-11-15>>
- CETESB Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Valores orientadores para solo e águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. Decisão de Diretoria nº 195-2005 - E, de 23 de novembro de 2005.
- CETESB Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Vinhaça – **Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola**. Norma técnica P4.231, 3ed, 2015. Disponível em: <[https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2013/11/P4.231_Vinha%C3%A7a - Crit%C3%A9rios-e-procedimentos-para-aplica%C3%A7%C3%A3o-no-solo-agr%C3%ADcola-3%C2%AA-Ed-2%C2%AA-VERS%C3%83O.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2013/11/P4.231_Vinha%C3%A7a-Crit%C3%A9rios-e-procedimentos-para-aplica%C3%A7%C3%A3o-no-solo-agr%C3%ADcola-3%C2%AA-Ed-2%C2%AA-VERS%C3%83O.pdf)>
- CETESB. **A nova norma paulista para vinhaça**. Norma Técnica CETESB - P4.231 (Versão Janeiro/2005)
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Procedimentos para Gerenciamento de Áreas Contaminadas**. Decisão de Diretoria nº 103/2007/C/E, de 22 de junho de 2007 40 p.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim de Safra de Cana-de-Açúcar, 4 Levantamento, Safra 2021/22**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>>. Acesso em: 05 de Maio. 2022.
- DALRI, A. B. et al. Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade de cana-de-açúcar. **Irriga**, v. 13, n. 1, p. 1-11, 2008.
- DIAS, H. B.; SENTELHAS, P. C. Dimensioning the Impact of Irrigation on Sugarcane Yield in Brazil. **Sugar Tech**, v. 21, p. 29–37, 2018.
- WICKHAM, H. **ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. Springer-Verlag New York, 2016.
- FOX, J.; WEISBERG, S. **An {R} Companion to Applied Regression**, 3ed. Thousand Oaks CA: Sage. 2019 Disponível em: <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>
- MAIR, P.; WILCOX, R. R. Robust Statistical Methods in R Using the WRS2 Package. **Behavior Research Methods**, v. 52, p. 464-488, 2020.
- MONTEIRO, L. A.; SENTELHAS, P. C. 2014. Potential and actual sugarcane yields in Southern Brazil as a function of climate conditions and crop management. **Sugar Tech**, v. 16, p. 264–276, 2014.
- NETO, A. L. Vinhaça: biofertilizante e energia sustentável. 2019. Disponível em: <https://unica.com.br/noticias/vinhaca-biofertilizante-e-energia-sustentavel/> . Acesso em: 8/08/2022.
- PERIN, V.; SENTELHAS, P. C.; DIAS, H. B.; SANTOS, E. A. Sugarcane irrigation potential in Northwestern São Paulo, Brazil, by integrating Agrometeorological and GIS tools. **Agricultural Water Management**, v. 220, p. 50-58, 2019.
- R Core Team (2020). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

- RAIJ, B. van et al. **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001
- SANTANA, M. J. De; CARVALHO, J. de A.; SOUZA, K. J. De; SOUSA, A. M. G. De; VASCONCELOS, C. L.; ANDRADE, L. A. de B. Efeitos da salinidade da água de irrigação na brotação e desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) e em solos com diferentes níveis texturais. **Ciência e Agrotecnologia.**, v. 31, n. 5, 2007.
- SILVA, M. A. et al. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. **Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambiental.** v. 18, n. 3, p. 241–249, 2014.
- WILCOX, R. R. **Introduction to robust estimation and hypothesis testing**. 4ed., Academic Press, 2017.