



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E  
MUCURI  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCOMBUSTÍVEIS



CARLOS ANDRÉ GONÇALVES

BIOSSÓLIDO E TORTA DE FILTRO NA COMPOSIÇÃO DE FERTILIZANTES  
ORGANOMINERAIS PARA A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum* sp)

Uberlândia

2018

CARLOS ANDRÉ GONÇALVES

BIOSSÓLIDO E TORTA DE FILTRO NA COMPOSIÇÃO DE FERTILIZANTES  
ORGANOMINERAIS PARA A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum* sp)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Biocombustíveis UFJM/UFU, da  
Universidade Federal de Uberlândia, como  
requisito para obtenção do título de Doutor em  
Ciência e Tecnologia de Biocombustíveis.

Área de concentração: Ambiente e  
Sustentabilidade

Orientador: Dr. Reginaldo de Camargo

Uberlândia

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

G635b      Gonçalves, Carlos André, 1976-  
2018      Biossólido e torta de filtro na composição de fertilizantes  
organominerais para a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* sp)  
[recurso eletrônico] / Carlos André Gonçalves. - 2018.

Orientador: Reginaldo de Camargo.  
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa  
de Pós-Graduação em Biocombustíveis.  
Modo de acesso: Internet.  
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2018.801>  
Inclui bibliografia.  
Inclui ilustrações.

1. Biocombustíveis. 2. Resíduos orgânicos. 3. Fotossíntese. 4.  
Biometria. I. Camargo, Reginaldo de, (Orient.) II. Universidade Federal  
de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Biocombustíveis. III.  
Título.

---

CDU: 662.756

Maria Salete de Freitas Pinheiro - CRB6/1262



Ata da defesa de TESE DE DOUTORADO junto ao Programa de Pós-Graduação em  
Biocombustíveis, do Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia  
DEFESA DE TESE DE DOUTORADO EM BIOCOMBUSTÍVEIS, NÚMERO 006/PPBIC.

DATA: 24/08/2018

DISCENTE: Carlos André Gonçalves  
11413PGB001

MATRÍCULA:

TÍTULO DO TRABALHO: Biossólido e torta de filtro na composição de fertilizantes organominerais para a cultura da cana-de-açúcar (*Sccharum* sp.)

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Biocombustíveis.

LINHA DE PESQUISA: Ambiente e Sustentabilidade.

PROJETO DE PESQUISA DE VINCULAÇÃO: .

Às quatorze hora do dia vinte e quatro de agosto do ano de dois mil e dezoito, no(a) Auditório 50-H, do bloco 50 no Campus Santa Mônica, reuniu-se a Banca Examinadora composta pelos Professores Doutores Reinaldo Ruggiero, da(o) Instituto de Química, da Universidade Federal de Uberlândia, Lázaro Eurípedes Xavier, da(o) Universidade Federal de Goiás, Ricardo Alexandre Lambert, da(o) Instituto Luterano de Ensino Superior, e Lillian de Araújo Pantoja, da(o) Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, bem como o Reginaldo de Camargo, professor(a) orientador(a) e presidente da mesa. Iniciando os trabalhos, o(a) presidente da mesa apresentou o(a) candidato(a) e a Banca Examinadora, agradeceu a presença do público e discorreu sobre as normas e critérios para a realização desta sessão, baseadas no Regulamento do Programa PPBIC. Em seguida, o(a) presidente da mesa concedeu a palavra ao(à) candidato(a) para a exposição do seu trabalho e, em sequência, aos examinadores, em ordem sucessiva, para arguir o(a) apresentador(a). A duração da apresentação e o tempo de arguição e resposta deram-se conforme as normas do Programa. Ultimada a arguição, desenvolvida dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu os conceitos finais e A provou o(a) candidato(a). Por sugestão da Banca Examinadora, o título do trabalho será

O mesmo

Esta defesa de Tese de Doutorado é parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor. O competente diploma será expedido após cumprimento do estabelecido nas normas do Programa, legislação e regulamentação internas da UFU. As correções observadas pelos examinadores deverão ser realizadas no prazo máximo de 90 dias. Nada mais havendo a tratar, deu-se por encerrada a sessão às 16 horas e 20 minutos e lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pela Banca Examinadora.

Prof.(a) Dr.(a) Reinaldo Ruggiero

Prof.(a) Dr.(a) Ricardo Alexandre Lambert

Prof.(a) Dr.(a) Lázaro Eurípedes Xavier

Profa. Dr.(a) Lillian de Araújo Pantoja

Orientador(a) : Prof.(a) Dr.(a) Reginaldo de Camargo

*A minha amada esposa Narcisa  
e aos meus entes queridos.*

*Dedico!*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por iluminar e abençoar minha vida, fortalecendo-me a cada dia.

A Universidade Federal de Uberlândia e ao Programa de Pós-Graduação em Biocombustíveis, pela oportunidade e suporte oferecidos.

A Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, na pessoa dos professores Dr. Alexandre Soares dos Santos e Dra. Lílian Araújo Pantoja, pelos ensinamentos e oportunidade de crescimento profissional.

A Companhia Mineira de Açúcar e Álcool (CMAA), Unidade Vale do Tijuco por todo apoio e recursos disponibilizados para realização do experimento. Em especial, ao Dr. Robson Thiago Xavier de Sousa e ao Antônio Bento Alves de Freitas “Tonzinho” (técnico de campo) por toda dedicação e auxílio na instalação, condução e desenvolvimento do experimento, sem vocês não conseguiríamos realizar a pesquisa.

A equipe do Geociclo Biotecnologia S/A pelo fornecimento e produção dos fertilizantes organominerais para realização desse experimento.

Ao DMAE pelo fornecimento do lodo de esgoto para transformação em bio sólido.

Ao Instituto Luterano de Ensino Superior de Itumbiara-GO (ILES/ULBRA), pelo apoio enquanto professor-pesquisador desta instituição e aos meus alunos de graduação que participaram da pesquisa.

Ao meu orientador Prof. Dr. Reginaldo de Camargo, pela confiança e por todos os ensinamentos profissionais e pessoais que aprendi durante os anos de convivência.

A co-orientadora Prof.a. Dra. Regina Maria Quintão Lana pelas orientações e colaborações no desenvolvimento da pesquisa.

Aos amigos e colegas da Pós-graduação e todos os Professores e Servidores da UFU presentes, pela amizade e ensinamentos compartilhados durante os anos de estudos. Em especial ao colega Dr. Emmerson Rodrigues de Moraes pela parceria no desenvolvimento dos nossos experimentos em conjunto.

Aos membros da Banca Examinadora pelas sugestões e contribuição na melhoria do trabalho.

Aos Amigos pela amizade, carinho e por todos os momentos de alegria que vocês proporcionaram diante das “tempestades” que tivemos que passar para chegar até aqui.

A minha amada família: pai, mãe, irmãos, sogra, sogro, cunhados, concunhadas e sobrinhos, por ser meu alicerce e pelo apoio, confiança e incentivo na construção de mais um degrau da minha história. E em especial, a minha querida e amada esposa Narcisa pelo seu amor dedicado a mim e por todo apoio na elaboração e no desenvolvimento deste trabalho.

*Minha gratidão.*

*“Se eu vi mais longe, foi por estar de pé sobre ombros de gigantes.”*

Isaac Newton

## RESUMO

A cana-de-açúcar representa uma das culturas do Brasil de maior potencial energético, seja na produção de biocombustíveis ou de energia elétrica. Atualmente, o setor sucroenergético espera aumentar a produtividade sem aumentar a área plantada, a partir das melhorias nas práticas agrícolas e novas variedades. Assim, a utilização de resíduos urbanos e industriais como fertilizante organomineral para cana-de-açúcar pode ser uma forma correta de destinação desse resíduo e ainda trazer sustentabilidade ambiental e econômica para a cultura. Neste trabalho, foram avaliados os efeitos da dosagem e de duas fontes de resíduos orgânicos (biossólido e torta de filtro) na estimativa de fotossíntese, variáveis biométricas e variáveis químico-tecnológicas, na produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum* sp), por dois ciclos de cultivo. O experimento foi realizado na área experimental da Usina Vale do Tijuco (CMAA) situada no povoado do Rio Peixe, distrito do município de Prata, MG. A adubação recomendada para o plantio foi de 570 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 04-21-07 (NPK) e cobertura de 570 kg ha<sup>-1</sup> de 07-00-28 (NPK) + 0,7% de B. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial 4 x 2 + 2, sendo quatro concentrações de fertilizante organomineral (50%, 100%, 150% e 200% da recomendação de plantio e cobertura) à base de torta de filtro e de biossólido, mais um controle positivo (100% de fertilizante mineral) e outro negativo (sem adubação), em quatro repetições. As análises das características fisiológicas das plantas, fotossíntese líquida e condutância estomática, indicam que adubação organomineral mantém a mesma eficiência fotossintética que a adubação mineral. O uso do biossólido e da torta de filtro na dose de 50% da recomendação para cana-de-açúcar foi significativamente superior à adubação mineral na dose de 100% para as taxas fotossintéticas. O mesmo ocorre nas variáveis químico-tecnológicas da cana-de-açúcar, o brix, pol% cana, pureza, fibra e ATR não foram alterados pela aplicação de fertilizante mineral e organomineral. Entretanto, ocorreu incremento no total de açúcar produzido por hectare (TAH) no segundo ano de cultivo de 10,25% via adubação organomineral com biossólido quando comparado à mesma dose de nutriente com aplicação do fertilizante mineral. A aplicação de fertilizantes organominerais na cana-de-açúcar mostrou-se eficiente e com ganhos nas variáveis avaliadas. Dessa forma, recomenda-se o uso do biossólido e da torta de filtro como fonte de matéria orgânica para a fertilização organomineral da cana-de-açúcar, aliando sustentabilidade ambiental com redução de custos sem perda de produtividade.

**Palavras-chave:** Resíduos orgânicos. Fotossíntese. Produtividade. Biometria.



## ABSTRACT

Sugarcane represents one of the crops of Brazil with the greatest energy potential, whether in the production of biofuels or electricity. Currently, the sugar-energy sector hopes to increase productivity without increasing the area planted, based on improvements in agricultural practices and new varieties. Thus, the use of urban and industrial waste as an organomineral fertilizer for sugarcane can be a correct way to dispose of this waste and also bring environmental and economic sustainability to the crop. In this work, the effects of the dosage and of two sources of organic residues (biosolids and filter cake) on the estimation of photosynthesis, biometric variables and chemical and technological variables, on sugarcane yield (*Saccharum* sp) were evaluated two crop cycles. The experiment was conducted in the experimental area of the Vale do Tijuco Plant (CMAA) located in the Rio Peixe, municipality of Prata, MG. The recommended fertilization for planting was 570 kg ha<sup>-1</sup> of formulation 04-21-07 (NPK) and coverage of 570 kg ha<sup>-1</sup> of 07-00-28 (NPK) + 0.7% of B. The experimental design was a randomized complete block design in a 4 x 2 + 2 factorial scheme with four concentrations of organomineral fertilization with a filter cake base and biosolid (50%, 100%, 150% and 200% of the recommendation for cover and cover), in addition to a positive control (100% of mineral fertilization) and a negative control (without fertilization), in four replicates. The analyzes of the physiological characteristics of the plants, liquid photosynthesis and stomatal conductance indicate that the organomineral fertilization maintains the same photosynthetic efficiency of the mineral fertilization. The use of biosolids and filter cake at a dose of 50% of the sugarcane recommendation was significantly superior to the mineral fertilization at the dose of 100% for the photosynthetic rates. The same occurs in the chemical-technological variables of sugarcane, brix, pol% cana, purity, fiber and ATR not altered by the application of mineral and organomineral fertilizer. However, there was an increase in total sugar produced per hectare (TAH) in the second year of cultivation of 10,25% through organomineral fertilization with biosolid when compared to the same nutrient dose with mineral fertilizer application. The application of organomineral fertilizers in sugarcane proved to be efficient and with gains in the evaluated variables. Therefore, it is recommended the use of biosolids and filter cake as a source of organic matter for the organomineral fertilization of sugarcane, combining environmental sustainability with cost reduction without loss of productivity.

**Keywords:** Organic waste. Photosynthesis. Productivity. Biometrics.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Estimativa de área colhida de cana-de-açúcar por Estado brasileiro na safra 2017/2018 .....  | 21 |
| <b>Figura 2.</b> Estimativa de produtividade da cana-de-açúcar por região do Brasil na safra de 2016/2017 e 2017/18. ....   | 22 |
| <b>Figura 3.</b> Produção mundial de etanol por país/região entre os anos de 2007 a 2017.....   | 23 |
| <b>Figura 4.</b> Fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar.....  | 25 |
| <b>Figura 5.</b> Via bioquímica simplificada do subtipo NADP-ME da fotossíntese C4 em cana-de-açúcar. 3-PGA = 3-fosfoglicerato; NADP-ME = NADP-enzima málica; OAA = oxaloacetato; PEP = fosfoenolpiruvato; PEPCase = fosfoenolpiruvato carboxilase; PPdK = piruvato ortofosfato diquinase; RuBP = ribulose-1,5-bisfosfato; triose-P = triose fosfato. ....  | 29 |
| <b>Figura 6.</b> Esquema geral das etapas: produção, transporte e acúmulo de sacarose em cana-de-açúcar. PGA = fosfoglicerato; RuBP = ribulose-1,5-bisfosfato; triose-P = triose fosfato; ATP = adenosina trifosfato; ADP = adenosina difosfato.....  | 30 |
| <b>Figura 7.</b> Comunicação fonte-dreno na cana-de-açúcar. (A) A atividade de fotossíntese é a mais alta em plantas de cana-de-açúcar no estágio de perfilhamento. Os fotoassimilados são fornecidos para o rápido crescimento das plantas. (B) A atividade de fotossíntese diminui em plantas de cana-de-açúcar no estágio de crescimento. A força do feedback do dreno inibe gradualmente a atividade fonte. (C) A atividade de fotossíntese é a menor em plantas de cana-de-açúcar no estágio maduro. Menos demanda dos drenos inibe a atividade da fonte. .... | 31 |
| <b>Figura 8.</b> Vista área da Fazenda experimental São José por imagem de satélite via Google Earth (2018). A – distância de ampliação 9,89 km; B – distância de ampliação 1,38 km. ....   | 44 |
| <b>Figura 9.</b> Médias mensais de chuva (mm) e da temperatura máxima média na Fazenda Experimental São José, Prata, MG durante o ciclo de cultivo: cana-planta (Jun/15 – May/16) e 1ª cana-soca (Jun/16 – May/17).....   | 45 |
| <b>Figura 10.</b> Lodo de esgoto proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto – DMAE/Uberlândia-MG, para ser aproveitado para fins agrícola. ....   | 46 |
| <b>Figura 11.</b> Processo de higienização do lodo de esgoto. A - Resíduo sólido após centrifugação; B - Tratamento com cal hidratada; C - Exposição à luz solar; D - Secagem ao sol. ....  | 47 |
| <b>Figura 12.</b> Composição do fertilizante organomineral utilizada na adubação de cobertura: biossólido (cinza), ureia (rósea), cloreto de potássio (laranja) e ácido bórico (branco).....  | 48 |
| <b>Figura 13.</b> Biossólido peletizado produzido pela empresa Geociclo Biotecnologia S/A.....  | 49 |
| <b>Figura 14.</b> Esquema geral do processo de fabricação dos “pellets” organomineral à base de torta de filtro produzido pela Geociclo Biotecnologia S/A .....   | 50 |
| <b>Figura 15.</b> Representação do esquema fatorial do delineamento experimental. ....  | 50 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 16.</b> Representação esquemática das parcelas experimentais do delineamento experimental. Retângulo em vermelho representa a área útil de cada parcela para as análises deste estudo.....   | 51 |
| <b>Figura 17.</b> Plantio mecanizado do experimento do canavial.....   | 52 |
| <b>Figura 18.</b> Sulcos do plantio e adubação com fertilizante organomineral peletizado (no círculo em destaque).....   | 52 |
| <b>Figura 19.</b> Fase de brotamento e estabelecimento da cana-de-açúcar (120 dias após o plantio).<br>.....   | 53 |
| <b>Figura 20.</b> Fase inicial de perfilhamento da cana-de-açúcar (180 dias após o plantio).....   | 53 |
| <b>Figura 21.</b> Fase de maturação da cana-de-açúcar (300 dias após o plantio) .....  | 54 |
| <b>Figura 22.</b> Fase de rebrota da cana-de-açúcar após a colheita mecanizada (cana-soca) (30 dias após o corte).....   | 54 |
| <b>Figura 23.</b> Colheita dos colmos de cana-de-açúcar para análise das variáveis químico-tecnológicas (366 dias após o plantio).....   | 55 |
| <b>Figura 24.</b> Representação esquemática do delineamento com os 10 tratamentos alocados na área experimental do canavial .....  | 55 |
| <b>Figura 25.</b> Esquema de numeração de folhas para cana-de-açúcar pelo sistema de Kuijper. .  | 57 |
| <b>Figura 26.</b> Representação esquemática da análise biométrica realizada no canavial.....   | 59 |
| <b>Figura 27.</b> Coleta dos colmos para as análises variáveis químico-tecnológicas. ....  | 60 |
| <b>Figura 28.</b> Fotossíntese líquida ( $P_N$ ) no ciclo cana-planta (2015/2016) em cultivar de cana-de-açúcar RB 92579 submetida à adubação com organomineral em diferentes doses/fontes: L1 – 50% a base de biossólido, L2 – 100% a base de biossólido, L3 – 150% a base de biossólido, L4 – 200% a base de biossólido, T1 – 50% a base de torta de filtro, T2 – 100% a base de torta de filtro, T3 – 150% a base de torta de filtro, T4 – 200% a base de torta de filtro, CN – controle negativo (sem fertilizante) e CP – controle positivo (100% fertilizante mineral).....  | 64 |
| <b>Figura 29.</b> Fotossíntese líquida ( $P_N$ ) no ciclo 1ª cana-soca (2016/2017) em cultivar de cana-de-açúcar RB 92579 submetida à adubação com organomineral em diferentes doses/fontes: L1 – 50% a base de biossólido, L2 – 100% a base de biossólido, L3 – 150% a base de biossólido, L4 – 200% a base de biossólido, T1 – 50% a base de torta de filtro, T2 – 100% a base de torta de filtro, T3 – 150% a base de torta de filtro, T4 – 200% a base de torta de filtro, CN – controle negativo (sem fertilizante) e CP – controle positivo (100% fertilizante mineral)..... | 65 |
| <b>Figura 30.</b> Condutância estomática (gs) no ciclo cana-planta (2015/2016) em cultivar de cana-de-açúcar RB 92579 submetida à adubação com organomineral em diferentes doses/fontes: L1 – 50% a base de biossólido, L2 – 100% a base de biossólido, L3 – 150% a base de biossólido, L4 – 200% a base de biossólido, T1 – 50% a base de torta de filtro, T2 – 100% a base de torta de filtro, T3 – 150% a base de torta de filtro, T4 – 200% a base de torta de filtro, CN – controle negativo (sem fertilizante) e CP – controle positivo (100% fertilizante mineral).....     | 68 |

- Figura 31.** Condutância estomática (gs) no ciclo 1ª cana-soca (2016/2017) em cultivar de cana-de-açúcar RB 92579 submetida à adubação com organomineral em diferentes doses/fontes: L1 – 50% a base de biossólido, L2 – 100% a base de biossólido, L3 – 150% a base de biossólido, L4 – 200% a base de biossólido, T1 – 50% a base de torta de filtro, T2 – 100% a base de torta de filtro, T3 – 150% a base de torta de filtro, T4 – 200% a base de torta de filtro, CN – controle negativo (sem fertilizante) e CP – controle positivo (100% fertilizante mineral)..... 69
- Figura 32.** Modelos de regressão significativos a 0,05 para fotossíntese líquida ( $P_N$ ) para cultivar de cana-de-açúcar RB92579 em função do percentual de doses de adubação organomineral a base de biossólido (A1 – ciclo cana-planta e A2 - ciclo 1ª cana-soca) ..... 71
- Figura 33.** Modelos de regressão significativos a 0,05 para fotossíntese líquida ( $P_N$ ) para cultivar de cana-de-açúcar RB92579 em função do percentual de doses de adubação organomineral a base de torta de filtro (B1 – ciclo cana-planta e B2- ciclo 1ª cana-soca) ..... 71
- Figura 34.** Modelos de regressão significativos a 0,05 para condutância estomática (gs) para cultivar de cana-de-açúcar RB92579 em função do percentual de doses de adubação organomineral a base de biossólido (A1 – ciclo cana-planta e A2 - ciclo 1ª cana-soca). ..... 72
- Figura 35.** Modelos de regressão significativos a 0,05 para condutância estomática (gs) para cultivar de cana-de-açúcar RB92579 em função do percentual de doses de adubação organomineral a base de torta de filtro (B1 – ciclo cana-planta e B2 - ciclo 1ª cana-soca). .... 72
- Figura 36.** Gráfico de interação da fotossíntese líquida ( $P_N$ ) entre os ciclos da cana e as fontes/doses de adubação (tratamentos). ..... 75
- Figura 37.** Gráfico de interação da Condutância estomática (gs) entre os ciclos da cana e as fontes/doses de adubação (tratamentos). ..... 76
- Figura 38.** Matriz de correlação do ciclo cana-planta (2015/2016) entre os valores médios de TCH estimado e das variáveis biométricas da cana-de-açúcar, com 10 meses de idade. .... 79
- Figura 39.** Matriz de correlação do ciclo 1ª cana-soca (2016/2017) entre os valores médios de TCH estimado e das variáveis biométricas da cana-de-açúcar, com 10 meses de idade. .... 80
- Figura 40.** Gráfico de interação do diâmetro médio do colmo entre os ciclos da cana-de-açúcar e as fontes/doses de adubação (tratamentos)..... 84
- Figura 41.** Gráfico de interação do TCH estimado entre os ciclos da cana-de-açúcar e as fontes/doses de adubação (tratamentos). ..... 85
- Figura 42.** Média de produtividade da cana-de-açúcar no ciclo cana-planta (2015/2016) em cultivar RB 92579 submetida à adubação com organomineral em diferentes doses/fontes: L1 – 50% a base de biossólido, L2 – 100% a base de biossólido, L3 – 150% a base de biossólido, L4 – 200% a base de biossólido, T1 – 50% a base de torta de filtro, T2 – 100% a base de torta de filtro, T3 – 150% a base de torta de filtro, T4 – 200% a base de torta de filtro, CN – controle negativo (sem fertilizante) e CP – controle positivo (100% fertilizante mineral)..... 87
- Figura 43.** Média de produtividade da cana-de-açúcar no ciclo 1ª cana-soca (2016/2017) em cultivar RB 92579 submetida à adubação com organomineral em diferentes doses/fontes: L1 –

50% a base de biossólido, L2 – 100% a base de biossólido, L3 – 150% a base de biossólido, L4 – 200% a base de biossólido, T1 – 50% a base de torta de filtro, T2 – 100% a base de torta de filtro, T3 – 150% a base de torta de filtro, T4 – 200% a base de torta de filtro, CN – controle negativo (sem fertilizante) e CP – controle positivo (100% fertilizante mineral)..... 88

**Figura 44.** Gráfico de interação da produtividade da cana-de-açúcar entre os ciclos da cana e as fontes/doses de adubação (tratamentos)..... 91

**Figura 45.** Gráfico de interação do TAH entre os ciclos da cana-de-açúcar e as fontes/doses de adubação (tratamentos)..... 97

**Figura 46.** Matriz de correlação do ciclo cana-planta (A) e 1ª cana-soca (B) entre os valores médios de TAH estimado e das trocas gasosas (fotossíntese líquida e condutância estomática).  
..... 99

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 1.</b> Relação de aproveitamento de nutrientes por tipo de fertilizante (%).....   | 35 |
| <b>Tabela 2.</b> Caracterização química do solo do local de estudo anterior a instalação do experimento. ....  | 45 |
| <b>Tabela 3.</b> Caracterização química do biossólido na base seca 110 °C.....   | 48 |
| <b>Tabela 4.</b> Tratamentos referentes ao experimento com cana-de-açúcar RB 92579. ....   | 56 |
| <b>Tabela 5.</b> Análise de variância da fotossíntese líquida do ciclo cana-plantas (2015/2016). ....  | 63 |
| <b>Tabela 6.</b> Análise de variância da fotossíntese líquida do ciclo 1ª cana-soca (2016/2017). ....  | 64 |
| <b>Tabela 7.</b> Análise de variância da condutância estomática do ciclo cana-plantas (2015/2016). ....  | 67 |
| <b>Tabela 8.</b> Análise de variância da condutância estomática do ciclo 1ª cana-soca (2016/2017). ....  | 68 |
| <b>Tabela 9.</b> Análise de Variância - ANOVA para dois fatores: fontes e doses de fertilizantes (tratamentos) e ciclo da cana-de-açúcar (período) relativa à fotossíntese líquida e a condutância estomática.....   | 74 |
| <b>Tabela 10.</b> Média das variáveis biométricas para cultivar de cana-de-açúcar RB 92579 submetida à adubação com fertilizantes organominerais em diferentes doses e fontes de matéria orgânica, com 10 meses de idade, ciclo cana-plantas (2015/2016). .... | 77 |
| <b>Tabela 11.</b> Coeficiente de correlação de Pearson entre os valores médios de TCH estimado e das variáveis biométricas para cultivar de cana-de-açúcar RB 92579, com 10 meses de idade, ciclo cana-plantas (2015/2016). ....                               | 78 |
| <b>Tabela 12.</b> Média das variáveis biométricas para cultivar de cana-de-açúcar RB 92579 submetida à adubação com fertilizantes organominerais em diferentes doses e fontes de matéria orgânica, com 10 meses de idade, ciclo 1ª cana-soca (2016/2017). .... | 79 |
| <b>Tabela 13.</b> Coeficiente de correlação de Pearson entre os valores médios de TCH estimado e das variáveis biométricas para cultivar de cana-de-açúcar RB 92579, com 10 meses de idade, ciclo 1ª cana-soca (2016/2017). ....                               | 80 |
| <b>Tabela 14.</b> Análise de Variância - ANOVA para dois fatores: fontes e doses de fertilizantes (tratamentos) e ciclo da cana-de-açúcar relativa às variáveis biométricas e a produtividade estimada. ....   | 83 |
| <b>Tabela 15.</b> Produtividade ( $t\ ha^{-1}$ ) de cana-de-açúcar dos ciclos de cana-plantas e 1ª cana-soca, adubados com fertilizante organomineral. ....  | 86 |
| <b>Tabela 16.</b> Análise de Variância - ANOVA para dois fatores: fontes/doses de fertilizantes (tratamentos) e ciclo da cana-de-açúcar relativa à produtividade ( $t\ ha^{-1}$ ). ....  | 90 |
| <b>Tabela 17.</b> Efeitos das doses e fontes de fertilizantes organominerais nas variáveis químico-tecnológicas da cana-de-açúcar, ciclo cana-plantas (2015/2016). ....  | 92 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 18.</b> Efeitos das doses e fontes de fertilizantes organominerais nas variáveis químico-tecnológicas da cana-de-açúcar, ciclo 1ª cana-soca (2016/2017).....             | 93 |
| <b>Tabela 19.</b> Total de açúcar por hectare (TAH) nos ciclos de cana-planta e 1ª cana-soca, em função da aplicação de fertilizante organomineral. ....                           | 95 |
| <b>Tabela 20.</b> Análise de Variância - ANOVA para dois fatores: fontes/doses de fertilizantes (tratamentos) e ciclo da cana-de-açúcar relativa à TAH ( $\text{t ha}^{-1}$ )..... | 96 |
| <b>Tabela 21.</b> Coeficiente de correlação de Pearson entre os valores médios de TAH e das taxas de fotossíntese líquida e condutância estomática. ....                           | 98 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLA

ABISOLO – Associação Brasileira das Indústrias de Tecnologia Nutrição Vegetal

ADP – Adenosina Difosfato

AR – Açúcares Redutores

ATP – Adenosina Trifosfato

ATR - Açúcares Totais Recuperáveis

BIOFOM - Biofertilizante organomineral

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CMAA - Companhia Mineira de Açúcar e Alcool

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

CONSECANA - Conselho dos Produtores de Cana de Açúcar, Açúcar e Etanol do Estado de São Paulo

COP - Conferência do Clima

CTC - Capacidade de Troca de Cátions

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ETc - Evapotranspiração da cultura

GEE - Gases de Efeito Estufa

gs – Condutância estomática

MAPA – Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MME - Ministério de Minas e Energia

NAD-ME - Nicotinamida adenina dinucleotídeo – enzima málica

NADPH - Nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato reduzida

NADP-ME - Nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato - enzima málica

NEBRA - North East Biosolids & Residuals Association



NOVACANA – Empresa de comunicação do setor sucroenergético do Brasil

OAA - oxaloacetato;

PCC – Pol do Caldo da Cana

PCTS - Sistema de Pagamento de Cana pelo Teor de Sacarose

PEP - fosfoenolpiruvato;

PEPCase - Fosfoenolpiruvato carboxilase

PGA - 3-fosfoglicerato

P<sub>N</sub> - Fotossíntese líquida

PPdK - Piruvato Ortofosfato diquinase

RED - Renewable Energy Directive

RFA - Renewable Fuel Association

RuBP - ribulose-1,5-bisfosfato

TAH - Total de Açúcar por Hectare

TCH - Produtividade de colmos por hectare

TPH - Produtividade de sacarose por hectare

Triose-P - triose fosfato

UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor

WEF - Water Environment Federation

## SUMÁRIO

|  |            |
|--|------------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>17</b>  |
| <b>2 OBJETIVOS .....</b>   | <b>20</b>  |
| 2.1 Objetivo Geral.....  | 20         |
| 2.2 Objetivos Específicos .....  | 20         |
| <b>3 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>   | <b>21</b>  |
| 3.1. A cultura da cana-de-açúcar e o etanol .....  | 21         |
| 3.2 Botânica e Fisiologia da Cana-de-açúcar.....   | 24         |
| 3.2.1 Nutrição da cana-de-açúcar .....   | 26         |
| 3.2.2 Fotossíntese da cana-de-açúcar .....   | 27         |
| 3.3 Fertilizantes orgânicos e organominerais.....  | 32         |
| 3.3.1 Torta de filtro .....  | 37         |
| 3.3.2 Biossólido.....  | 38         |
| <b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>  | <b>44</b>  |
| 4.1 Características da área experimental.....  | 44         |
| 4.2 Material vegetal - genótipo .....  | 45         |
| 4.3 Obtenção do fertilizante organomineral.....  | 46         |
| 4.4 Delineamento Experimental .....  | 50         |
| 4.5 Análise das trocas gasosas .....   | 56         |
| 4.6 Análise biométrica .....   | 57         |
| 4.7 Análise das variáveis químico-tecnológicas .....   | 59         |
| 4.8 Análise estatística .....  | 61         |
| <b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>  | <b>63</b>  |
| 5.1 Trocas gasosas da cana-de-açúcar .....   | 63         |
| 5.2 Variáveis biométricas da cana-de-açúcar.....   | 76         |
| 5.3 Produtividade, variáveis químico-tecnológicas e total de açúcar produzido por hectare (TAH)..... | 85         |
| 5.4 Correlação da produtividade (TAH) com as trocas gasosas .....                                    | 97         |
| <b>6 CONCLUSÃO.....</b>  | <b>101</b> |
| <b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>   | <b>102</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>   | <b>103</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é considerada, dentro do setor de biocombustíveis, uma das melhores alternativas para produção de energia. O seu potencial de produção de etanol de primeira e segunda geração, além de seus subprodutos como na geração de energia elétrica e polímeros, vem contribuindo para sustentabilidade da cultura e auxiliando na redução de custos (CONAB, 2017).

Atualmente, o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar (CONAB, 2017) com estimativa para safra 2017/18 de colheita de 8.766,5 mil hectares de cana-de-açúcar destinada à atividade sucroalcooleira, com a produção estimada de 646 milhões de toneladas (MAPA, 2017). Essa alta produtividade ocorre motivada por questões econômicas e políticas gerando a expansão da cultura no país, no entanto, do ponto vista ambiental, a cana-de-açúcar apresenta vantagens a outras matérias-primas para geração de bioenergia. Dentre os aspectos positivos destacam-se: menor custo de produção, alta produtividade com baixa dose de nitrogênio (N) e mitigação de gases de efeito estufa (GEE) (CORTEZ, 2012; AQUINO et al., 2014; BIGATON et al., 2015).

Apesar da cultura da cana-de-açúcar no Brasil ser cultivada com doses relativamente baixas de N ( $90 - 120 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (CANTARELLA et al., 2007), o custo de fertilizante mineral é alto. A produção interna de insumos para fertilizantes é insuficiente e cerca de 60% provêm de importações. A alta dependência externa deixa o país vulnerável a flutuações de câmbio e preços e traz o risco de escassez de insumos básicos (COSTA e SILVA, 2011). Consequentemente, essa dependência de importações de fonte renovável de nutrientes eleva o custo de produção da cana-de-açúcar (RAMOS et al., 2017).

Dentro desse contexto, os produtores agrícolas têm procurado aliar as novas tecnologias para continuar investindo em práticas que não alterem negativamente o solo, como a adubação orgânica. O setor de fertilizantes orgânicos vem crescendo consideravelmente desde a sua regulamentação, a partir da publicação do Decreto 4.954/2004 e suas posteriores Instruções Normativas (ABISOLO, 2017).

A adubação com fertilizante organomineral vem ganhando destaque no cenário brasileiro, seja do ponto de vista ambiental, pois reduz a quantidade de resíduos orgânicos alocados de forma incorreta no meio ambiente, seja no aspecto econômico com redução dos altos custos com adubação mineral. Fabricado a partir da compostagem orgânica e enriquecida por nutrientes minerais que potencializam a nutrição do solo, o fertilizante

organomineral é importante para a nutrição vegetal ao auxiliar o desenvolvimento do solo e das plantas. Estudos apontam que a adubação organomineral para cana-de-açúcar pode de maneira parcial ou mesmo integral substituir a adubação mineral e ainda, aumentar a produtividade e a reciclagem de nutrientes com prática sustentável (DEON et al., 2010; TEIXEIRA et al., 2014).

O uso de biossólido (lodo de esgoto tratado com redução de agentes patogênicos) (NEBRA, 2017) e de torta de filtro (composto da mistura do bagaço moído e lodo de decantação proveniente do processo de tratamento e clarificação do caldo da cana-de-açúcar) tem se mostrado promissoras na agricultura (SANTOS et al. 2010; RESENDE JÚNIOR et al., 2016; RAMOS et al., 2017).

A eficiência na produtividade da cana-de-açúcar utilizando fertilizantes organominerais foi demonstrado por Fravet et al. (2010) com aumento na produtividade de colmos por hectare (TCH) e na produtividade de sacarose por hectare (TPH) a partir da aplicação de adubação organomineral à base de torta de filtro. Almeida Júnior et al. (2011) avaliaram os efeitos da aplicação de doses de torta de filtro e de fertilizante mineral sobre os atributos químicos do solo para determinar qual a melhor combinação dessas fontes na produção de massa seca de cana-de-açúcar e observaram que a aplicação de torta de filtro promoveu uma melhoria na fertilidade do solo, sendo que as plantas responderam favoravelmente à adubação.

Franco et al. (2010) verificaram que a aplicação de lodo de esgoto (biossólido) no plantio da cana, combinado ou não com adubo mineral nitrogenado e, ou, fosfatado, aumentou a produtividade de colmos, sem alterar a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, em relação à adubação com NPK. Outros autores também apontam o uso do lodo de esgoto de maneira parcial ou mesmo integral como possibilidade de substituir a adubação mineral e ainda, aumentar a produtividade e a reciclagem de nutrientes com prática sustentável (DEON et al., 2010; SILVA et al., 2010).

Para estimativa da produtividade da cana-de-açúcar diante de variáveis ambientais, diversos modelos estão sendo utilizados como simulação, dentre os quais, destacam-se os parâmetros biométricos e fenológicos (LANDELL; BRESSIANI, 2008; MARIN; JONES, 2014). Santana e colaboradores (2010) demonstraram que as variáveis como altura da planta, massa dos colmos e a área foliar são características determinantes na produtividade da cana-de-açúcar.

Estudos realizados com parâmetros biométricos sobre a produtividade de colmos por hectare de cana-de-açúcar nas fases de cana-planta e cana-soca, utilizando os

componentes de produção (altura, diâmetro e número de colmos por parcela) em resposta a variáveis hídricas, concluíram que as cultivares de cana-de-açúcar, tanto em ciclo de cana-planta quanto em ciclo de cana-soca, tendem a apresentar maiores diâmetros em condições de estresse hídrico. Além disso, o número de entrenós e o número de perfilhos tendem a aumentar com o aumento da reposição hídrica (OLIVEIRA et al., 2016).

As análises de trocas gasosas também é um parâmetro utilizado para avaliar o potencial de produtividade da cana-de-açúcar e baseia-se na utilização da taxa fotossintética obtida pela assimilação do CO<sub>2</sub>. Souza (2007) demonstrou que em cana-de-açúcar cultivadas sob elevado níveis de CO<sub>2</sub> houve um aumento na taxa fotossintética, na biomassa de colmo e folha e no teor de sacarose. Assim como, a ausência de nutrientes tais como nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio, enxofre, entre outros, pode reduzir a atividade fotossintética da cana-de-açúcar e diminuir a sacarose (ORTOLANI FILHO, 1983).

Os fertilizantes organominerais proporcionam liberações húmicas no solo e melhoram a capacidade de absorção de nutrientes pelas raízes das plantas, influenciando nos processos metabólicos nas plantas, tais como: respiração, fotossíntese, síntese de ácidos nucléicos e absorção de íons. O fornecimento de micro e macronutrientes, como o nitrogênio, fósforo, magnésio e potássio, pela aplicação de fertilizantes organominerais, beneficiam diretamente nas trocas gasosas e na produção de fotoassimilados pela planta. Pode-se afirmar que uma planta quando está perfeitamente suprida por nutrientes minerais aumenta sua produtividade pela aptidão em translocar fotoassimilados para órgãos acumuladores (TAIZ; ZEIGER, 2013, p. 96; WANG et al., 2017).

Estudo realizado por Oliveira et al. (2016) demonstraram que em cultura de sorgo (*Sorghum bicolor*) adubado com fertilizantes organominerais com composição de biofósforo, torta de filtro e turfa, os parâmetros avaliados, em sua maioria, foram superiores nos tratamentos com fertilizantes organominerais. Os autores relataram ainda que para as variáveis analisadas (altura da planta, diâmetro do caule, clorofila a, clorofila b e área foliar) os fertilizantes organominerais podem substituir adubos minerais no desenvolvimento do sorgo, mesmo com reduções de dose.

Nesse sentido, acredita-se que o uso de fertilizantes organominerais, como o biofósforo e a torta de filtro, irão beneficiar as atividades fotossintéticas da cana-de-açúcar, consequentemente aumentando sua produtividade e potencial bioenergético.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a eficiência de biossólido e torta de filtro na composição de fertilizantes organominerais aplicados em diferentes doses, sobre a estimativa de fotossíntese, nas variáveis biométricas e químico-tecnológicas de produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum* sp) por dois ciclos de cultivo, cana-planta (2015/16) e 1ª cana-soca (2016/17).

### **2.2 Objetivos Específicos**

Avaliar a taxa das trocas gasosas (fotossíntese líquida e condutância estomática) da cana-de-açúcar das diferentes doses de adubação com fertilizantes organominerais a base de biossólido e torta de filtro por dois ciclos de cultivo, cana-planta (2015/16) e 1ª cana-soca (2016/17).

Avaliar a produtividade da cana-de-açúcar, por meio de parâmetros biométricos, em resposta à adubação com fertilizantes organominerais a base de biossólido e torta de filtro por dois ciclos de cultivo, cana-planta (2015/16) e 1ª cana-soca (2016/17).

Avaliar as variáveis de produtividade da cana-de-açúcar, conforme as determinações químico-tecnológicas da CONSECANA (2006), em resposta à adubação com fertilizantes organominerais a base de biossólido e torta de filtro por dois ciclos de cultivo, cana-planta (2015/16) e 1ª cana-soca (2016/17).

Correlacionar as variáveis de produtividade (TAH) com estimativa de fotossíntese líquida e condutância estomática por dois ciclos de cultivo, cana-planta (2015/16) e 1ª cana-soca (2016/17).

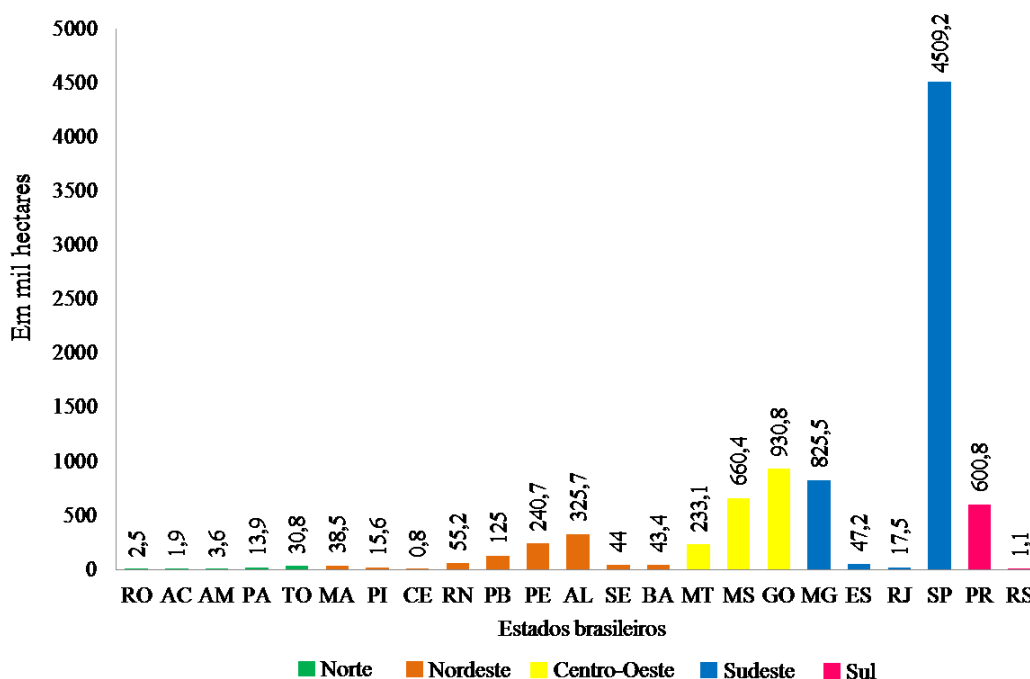
### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1. A cultura da cana-de-açúcar e o etanol

O aumento da demanda mundial por etanol proveniente de fontes renováveis vem favorecendo ao Brasil a tornar-se um país promissor para exportação dessa commodity. Devido às condições edafoclimáticas favoráveis e as grandes áreas cultiváveis, o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar com estimativa de produção, na safra 2017/2018 (3º levantamento), de 635,6 milhões de toneladas, representando grande importância para o agronegócio brasileiro. A produção de etanol nessa safra aumentou seu percentual de 29,4 para 30,1%, essa mudança impulsionou a produção desse combustível e melhorou as estimativas para 27,1 bilhões de litros (CONAB, 2017).

A cultura da cana-de-açúcar atingiu 8.738,6 mil hectares de área colhida na safra 2017/2018 (3º levantamento), destinada à atividade sucroalcooleira. A região Centro-Sul representa a principal área do território brasileiro destinado à produção da cana, principalmente o estado de São Paulo com 4.509,2 mil/ha, seguido por Goiás, 930,8 mil/ha e Minas Gerais com 825,5 mil/ha (Figura 1) (CONAB, 2017).

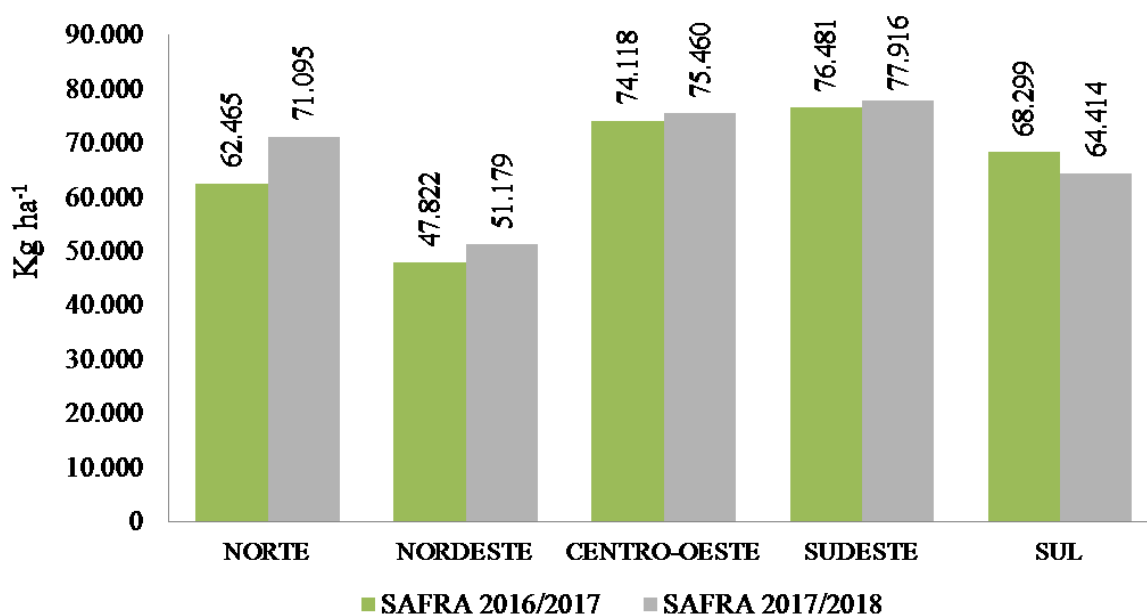
**Figura 1.** Estimativa de área colhida de cana-de-açúcar por Estado brasileiro na safra 2017/2018



Fonte: elaborado pelo autor com dados da Conab (2017)

A competitividade do setor sucroenergético está diretamente relacionada com produtividade da cana-de-açúcar e com o aumento da produção. A produtividade média estimada para a temporada 2017/18 é de 73.728 kg/ha. O incremento observado em relação à safra passada (1,5%) é decorrente da expectativa de recuperação das lavouras na Região Norte-Nordeste (7,5%) e, em menor escala, na Região Centro-Sul (1,3%), principal produtora nacional, em comparação com o observado na safra passada (Figura 2).

**Figura 2.** Estimativa de produtividade da cana-de-açúcar por região do Brasil na safra de 2016/2017 e 2017/18.



Fonte: elaborado pelo autor com dados da Conab (2017)

O tamanho da área plantada e as práticas agrícolas são fatores que influenciam diretamente a produtividade e a produção da cana-de-açúcar. Para o país atingir as metas de expansão de produção de etanol, duplicando o volume produzido atualmente, e ainda cumprir com os compromissos da COP 21 (21ª Conferência do Clima, 2015), o setor espera não ser necessário dobrar a área plantada, mas sim aumentar a produtividade por melhorias nas práticas adotadas pelas empresas, como novas variedades de cana e novas técnicas agrícolas (DELGADO; SOUSA; ROITMAN, 2017).

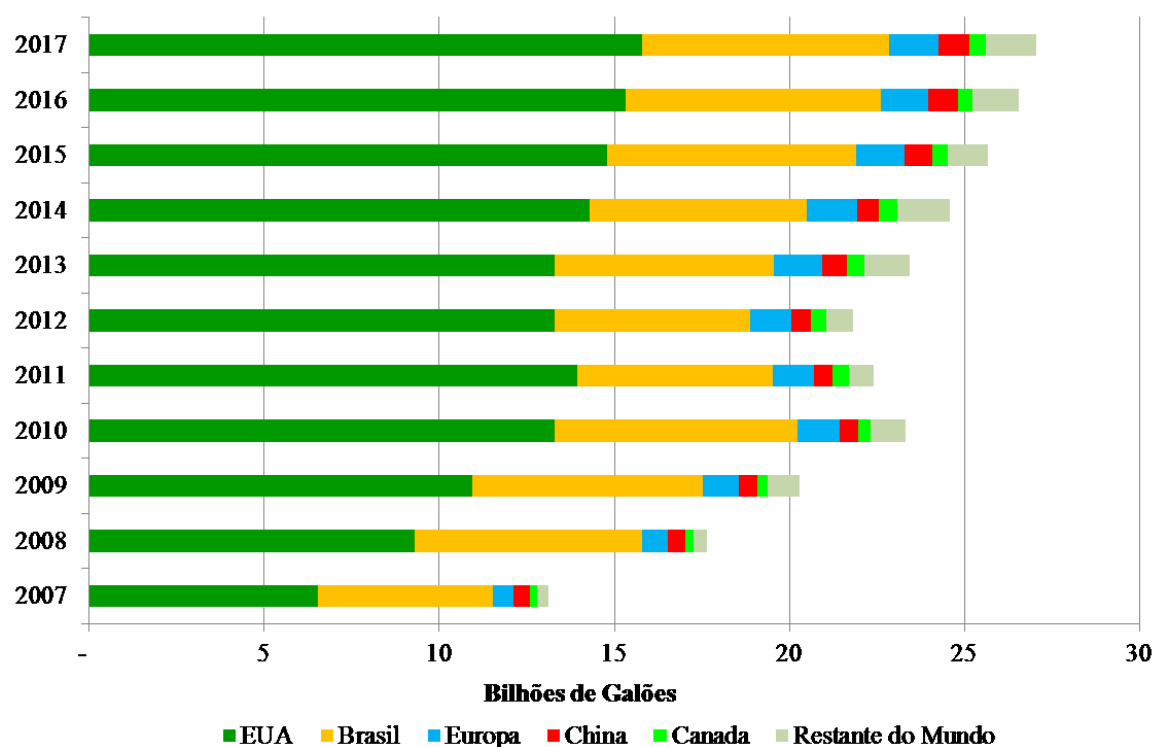
O etanol representa atualmente o combustível renovável com maior produção mundial. Em 2003, com aparecimento da tecnologia automotiva nomeada de *flex-fuel*, proporcionou um novo aumento da participação do biocombustível na matriz brasileira. Os veículos com essa tecnologia permitem o uso de gasolina ou etanol hidratado, puros ou



misturas dos dois em qualquer proporção e tais modelos representaram 88% dos licenciamentos e 71% da frota de veículos leves em 2015 (EPE, 2017).

Os últimos dados apresentados pela *Renewable Fuels Association* (Associação de Combustíveis Renováveis) dos Estados Unidos demonstra um aumento mundial na produção de etanol de 13,1 bilhões de galões em 2007 para 27,05 bilhões de galões em 2017. Dentre os maiores produtores de etanol do mundo, o Brasil ocupa a 2ª posição, com produção em 2017 de 7,06 bilhões de galões de etanol equivalendo menos da metade da produção alcançada pelos Estados Unidos, 15,8 bilhões de galões (Figura 3). Os dois países representam juntos 84% da produção mundial de etanol, sendo que nos EUA a principal produção deriva de matéria-prima amilácea por digestão enzimática, enquanto no Brasil utiliza-se de açúcares presentes no caldo de cana-de-açúcar por processos fermentativos.

**Figura 3.** Produção mundial de etanol por país/região entre os anos de 2007 a 2017.



Fonte: elaborado pelo autor com dados da Renewable Fuels Association (2017)

O índice de maior importância na cadeia produtiva da cana-de-açúcar é o conteúdo de sacarose no colmo, uma vez que a maior produção de etanol no Brasil é realizada comercialmente pela rota tecnológica fermentativa, utilizando o caldo da cana-de-açúcar. O etanol oriundo da cana-de-açúcar possui vantagens em relação às demais fontes, ele é capaz de reduzir em 78% as emissões de GEE (Gás de Efeito Estufa), em comparação com a

gasolina, enquanto o etanol de milho reduz, em média, 19%. Já o etanol de segunda geração permite reduções ainda maiores, de 86% em relação ao combustível fóssil (DELGADO; SOUSA; ROITMAN, 2017).

A fim de garantir as mudanças estruturais no setor sucroenergético e estimular a produção de biocombustíveis, o Ministério de Minas e Energia (MME) lançou ao final de 2016 o programa RenovaBio, inspirado nas iniciativas internacionais como o *Renewable Fuel Association* (RFA) dos Estados Unidos, e o *Renewable Energy Directive* (RED) da União Européia. O RenovaBio irá avaliar a emissão de carbono no processo de produção do biocombustível e aplicará uma nota para cada Usina. Serão avaliados parâmetros como: consumo de fertilizantes, consumo de combustíveis, rendimento industrial do biocombustível, consumo de energia elétrica e rendimento de energia elétrica excedente, assegurando assim a previsibilidade para o mercado de combustíveis (BRASIL, MME 2017).

### 3.2 Botânica e Fisiologia da Cana-de-açúcar

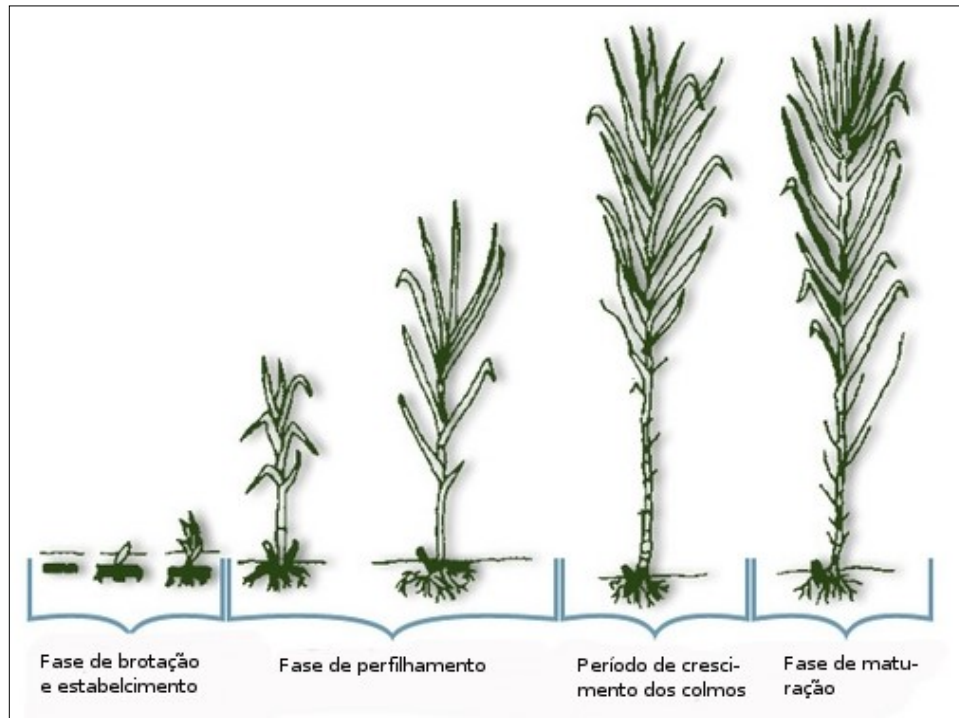
A cana-de-açúcar é uma planta monocotiledônea, alógama pertencente à família Poaceae do gênero *Saccharum* L. Seus atuais cultivares são híbridos interespecíficos, sendo que nas constituições genéticas participam as espécies *S. officinarum*, *S. spontaneum*, *S. sinense*, *S. barberi*, *S. robustum* e *S. edule*. São cultivadas em regiões tropicais e subtropicais, difundida numa ampla faixa de latitude e adaptando a diversas condições de clima e solo (TOPPA et al., 2010).

O desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar ocorre por formação de perfilhos em touceira. Cada touceira é formada por colmos, o qual representa a parte aérea da planta e responsável pelo acúmulo da sacarose, sendo a estrutura de maior interesse econômico. O colmo é formado por nós e entrenós, onde ocorre a inserção da folha. Em decorrência das características genéticas as touceiras podem apresentar colmos eretos, semi-erectos e decumbentes, sendo sua intensidade de perfilhamento que garantirá uma melhor produtividade (SCARPARI; de BEAUCLAIR, 2008).

Trata-se de uma planta de reprodução sexuada, mas comercialmente multiplicada por clones pela propagação vegetativa. É caracterizada por quatro diferentes estágios de desenvolvimento: (1) emergência dos brotos, (2) perfilhamento e estabelecimento da cultura, (3) crescimento (final do perfilhamento ao início do acúmulo de sacarose) e (4) maturação (intenso acúmulo de sacarose nos colmos) (Figura 4) (GASCHO; SHIH, 1983). A fase

fisiológica da cana-de-açúcar que proporciona um retorno econômico é a maturação. A maturação da cana é definida pelos fisiologistas como um estágio senescente, entre o crescimento rápido e a morte final da planta (JADOSKI et al. 2011).

**Figura 4.** Fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar.



Fonte: Gascho; Shih (1983).

A cana-de-açúcar é uma cultura semiperene com um ciclo que dura em torno de quatro a cinco estágios de corte. O plantio é feito em duas épocas preferenciais, dando origem à cana-planta de ano (12 meses) ou à cana-planta de ano e meio (18 meses). Após este primeiro corte, os estágios de corte seguintes são denominados de cana-soca, onde a cada corte ocorre a brotação da soqueira e o início de um novo estágio de corte. Com o aumento do número de estágios de corte ocorre uma perda gradativa na produtividade agrícola (SUGAWARA; RUDORFF 2011).

A sustentabilidade da cana-de-açúcar está diretamente relacionada às tecnologias de melhoramento genético (variedade utilizada), do gerenciamento agrícola (manejo de pragas), das técnicas de plantio, dos tratos culturais (composição e quantidade de adubo aplicado) e da colheita (manual e/ou mecanizada). A complexidade dos fatores biológicos e físicos que participam da interação entre a planta, o solo e o ambiente são essenciais para garantir uma boa produtividade dessa cultura (MANHÃES et al., 2015; NOVACANA, 2018).

Dentre esses fatores que influenciam na produtividade da cana-de-açúcar destacam-se: a qualidade das variedades de cana utilizadas, a renovação dos canaviais, as condições edafoclimáticas, uso das melhores técnicas de mecanização do plantio e da colheita. Entretanto, quando se refere ao rendimento da cana-de-açúcar, medidos pelo índice Açúcares Totais Recuperáveis (ATR) por tonelada de cana, é influenciado ainda por fatores como: a maturação do canavial (canas colhidas no início da safra tem menor ATR) e tratos culturais (DELGADO; SOUSA; ROITMAN, 2017).

A maturação da cana-de-açúcar pode ser considerada sob dois diferentes pontos de vista: botânico e fisiológico. Botanicamente, a cana-de-açúcar está madura após a emissão de flores e formação de sementes. Levando em conta a reprodução vegetativa, que é usada comercialmente, a maturação pode ser considerada muito mais cedo no ciclo, quando as gemas já estão em condições de darem origem a novas plantas. Fisiologicamente, a maturação é alcançada quando os colmos atingem seu potencial de armazenamento de sacarose, ou seja, o ponto de máximo acúmulo possível (SILVA, 1989 apud TOPPA et al, 2010; JADOSKI et al., 2011).

Para estabelecer a fase de maturação de maior rendimento, a indústria sucroalcooleira correlaciona o pol da cana, que é um indicativo da quantidade de sacarose da cana-de-açúcar, com outros parâmetros tecnológicos como brix (teor de sólidos solúveis), pureza e AR (açúcares redutores) (FERNANDES, 2003).

O acúmulo de sacarose em cana-de-açúcar é o resultado final do ciclo de síntese e hidrólise da sacarose, envolvendo a atividade de várias enzimas tanto na fonte como no dreno. A diferença na capacidade de armazenar sacarose entre genótipos de cana-de-açúcar está relacionada com fatores morfológicos, enzimáticos e ambientais (MOORE, 2005).

Os tratos culturais da cana-de-açúcar, como a nutrição e adubação, também são primordiais para produtividade. As exigências minerais da cana-de-açúcar, assim como as quantidades de nutrientes removidas pela cultura, são conhecimentos fundamentais para o estudo da adubação, indicando as quantidades de nutrientes a serem fornecidas (COLETI et al., 2006).

### *3.2.1 Nutrição da cana-de-açúcar*

A cana-de-açúcar, por produzir grande quantidade de biomassa, retira do solo e acumula grande quantidade de nutrientes. Se considerar uma produção de cerca de 100 toneladas de colmos industrializáveis, o acúmulo de nutrientes na parte aérea da cana é da

ordem de 150 kg de nitrogênio (N), 40 kg de fósforo (P), 180 kg de potássio (K), 90 kg de cálcio (Ca), 50 kg de magnésio (Mg) e 40 kg de enxofre (S). O mesmo ocorre para os micronutrientes que também são acumulados na biomassa da parte aérea da planta, como ferro (Fe) com 8 kg, manganês (Mn) com 3 kg, zinco (Zn) com 0,6 kg, cobre (Cu) com 0,4 kg e boro (B) com 0,3 kg (OLIVEIRA et al, 2002; OLIVEIRA et al., 2007).

Segundo Korndörfer (1994) a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar está diretamente ligada à adubação. Uma adubação nitrogenada proporciona um crescimento vegetativo maior e consequentemente aumenta a umidade da cana, podendo diminuir o teor de sacarose dos colmos. O nitrogênio (N) atua como importante nutriente para fisiologia da cana-de-açúcar, ele é constituinte das proteínas e dos ácidos nucleicos e sua absorção pela cana aumenta a atividade meristemática da parte aérea resultando em maior índice de área foliar. Entretanto, a absorção e metabolismo do N são influenciados pela disponibilidade de fósforo (OLIVEIRA et al., 2007)

Apesar da cana-de-açúcar necessitar de pequenas quantidades de fósforo (P), comparado ao nitrogênio, o P exerce funções essenciais no metabolismo da planta. Ele é constituinte de proteínas e de moléculas armazenadoras de energia e atua nos processos de fotossíntese, respiração, divisão celular e na produção de sacarose (OLIVEIRA et al., 2005). A adubação fosfatada aumenta significativamente a produção de colmos e o rendimento de açúcar da cana (TEIXERA; SOUSA; KONDÖRFER, 2014).

O potássio representa o nutriente mais exigido pela cultura da cana-de-açúcar, além de influenciar na sua qualidade, participa como cofator de enzimas ligado ao metabolismo de açúcares, em transformações anabólicas e catabólicas de sacarose e hexose, atua no aumento da clorofila e conversão de energia nos cloroplastos, na abertura e fechamento de estômatos, além de estar relacionado com assimilação de gás carbônico e fotofosforilação (ALEXANDER, 1965; FIGUEIREDO, 2006).

### *3.2.2 Fotossíntese da cana-de-açúcar*

A fotossíntese é um processo anabólico da produção de compostos orgânicos, resultado de uma série de reações fotoquímicas e bioquímicas. A energia luminosa ao ser absorvida pela clorofila provoca uma reação fotoquímica que resulta na retirada de elétrons da água (causando liberação de O<sub>2</sub>) e na síntese de ATP e NADPH. A energia química e o poder

reduzidor assim formado são utilizados para reduzir o  $\text{CO}_2$  a compostos orgânicos, durante as reações bioquímicas da fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2013, p. 138).

Nesse processo da fotossíntese, o mesófilo é o tecido mais ativo, por ser constituído de células com muitos cloroplastos, os quais possui um pigmento verde especializado, a clorofila. Nos cloroplastos, a luz é absorvida pelas moléculas de clorofila e a energia é colhida por duas diferentes unidades funcionais, conhecidas como fotossistemas. A energia da luz absorvida é utilizada para impulsionar a transferência de elétrons através de uma série de compostos que agem como doadores e aceptores de elétrons. A maioria dos elétrons é utilizada para reduzir  $\text{NADP}^+$  para NADPH. A energia da luz é utilizada, também, para gerar um gradiente de prótons entre o estroma e o lúmen dos tilacóides, o qual é usado para síntese da ATP. Os produtos destas reações (ATP e NADPH) são usados para a síntese de açúcares nas reações de fixação e redução de  $\text{CO}_2$  (RAVEN, EICHHORN, EVERTY, 2014).

Como uma adaptação às mudanças nas condições climáticas que causaram altas taxas de fotorrespiração, as plantas  $\text{C}_4$  evoluíram para exibir maior eficiência fotossintética do que as plantas  $\text{C}_3$  sob temperatura elevada, altas intensidades de luz e seca. As plantas  $\text{C}_4$  evoluíram independentemente mais de 60 vezes em 19 famílias de angiospermas para estabelecer mecanismos  $\text{C}_4$  similares, mas não uniformes, para concentrar  $\text{CO}_2$  em torno da enzima carboxilante Rubisco (ribulose 1,5-bifosfato carboxilase oxigenase). A fotossíntese  $\text{C}_4$  é dividida em pelo menos dois subtipos bioquímicos básicos baseados nas enzimas decarboxilantes primárias, enzima málica dependente de NAD (NAD-ME) e enzima málico dependente de NADP (NADP-ME). As múltiplas origens poligenéticas desses subtipos levantam questões sobre a associação da variação de  $\text{C}_4$  entre os subtipos bioquímicos e as diversas linhagens (RAO; DIXON, 2016).

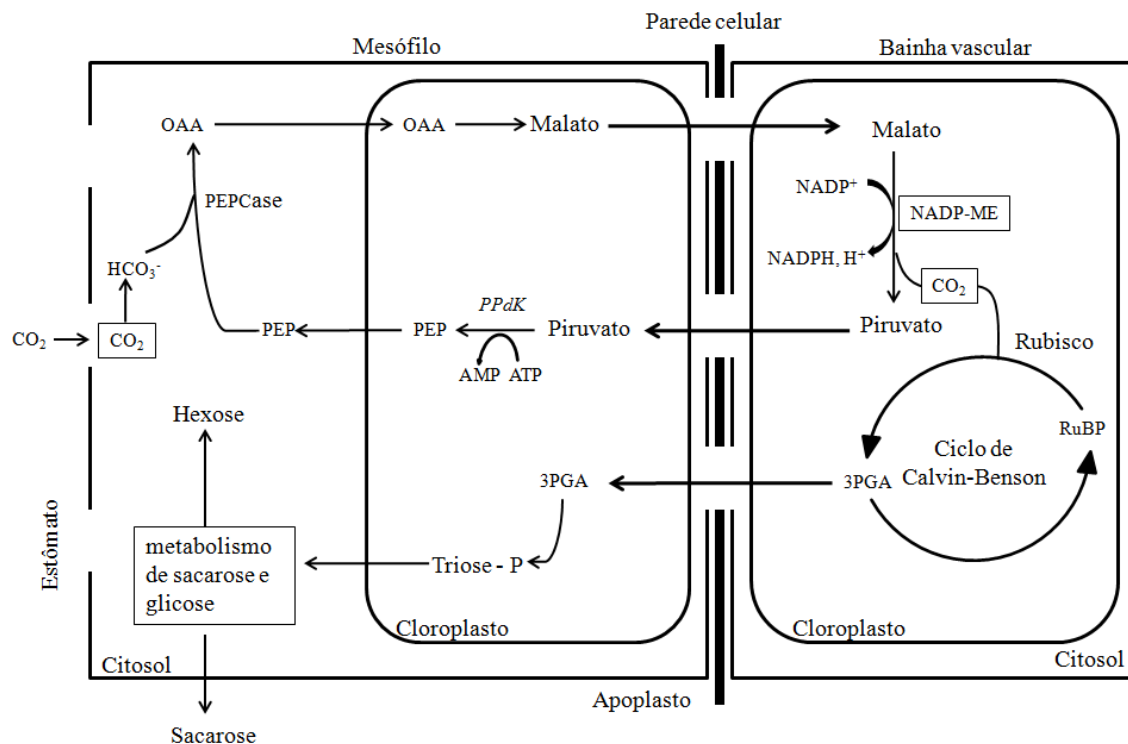
Culturas produtivas de biocombustível pertencem ao subtipo NADP-ME  $\text{C}_4$ , como por exemplo, a cana-de-açúcar (*Saccharum* sp). (EDWARDS; WALKER, 1983). A cana-de-açúcar está entre as espécies da família Poacea de maior rendimento fotossintético, possui metabolismo  $\text{C}_4$ , sendo considerada uma planta de alta eficiência fotossintética, devido à sua adaptação às condições de alta intensidade luminosa, a alta temperatura e a relativa escassez de água (SEGATO et al., 2006).

O metabolismo de plantas  $\text{C}_4$  para produção de açúcares ocorre com a fixação do  $\text{CO}_2$  pela fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPCase) em oxaloacetato (OAA) nas células mesófilas para formar o malato. O malato é transportado das células do mesófilo para os cloroplastos da bainha do feixe vascular, onde é descarboxilado pela NADP-ME para piruvato

liberando  $\text{CO}_2$  nas células da bainha do feixe vascular. Posteriormente, o carbono liberado é fixado pela ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase: oxigenase (Rubisco) no ciclo Calvin-Benson para sintetizar trioses-fosfato, a qual é transportada no citoplasma para sintetizar açúcares (Figura 5). Esses açúcares, principalmente glicose e frutose, são descarregados do floema nos órgãos de armazenamento e dreno (TAIZ; ZEIGER, 2013).

É importante conhecer o subtipo de enzima atuante no metabolismo das plantas para estabelecer quais compostos podem inibir ou promover a ação dessa enzima, o que afetará diretamente o processo fotossintético. A NADP-ME é inibida pela presença de diversos ácidos orgânicos, incluindo aminoácidos, enquanto que o succinato e o citrato aumentam a atividade dessa enzima (IGLESIAS; ANDREO, 1989).

**Figura 5.** Via bioquímica simplificada do subtipo NADP-ME da fotossíntese C4 em cana-de-açúcar. 3-PGA = 3-fosfoglicerato; NADP-ME = NADP-enzima málica; OAA = oxaloacetato; PEP = fosfoenolpiruvato; PEPCase = fosfoenolpiruvato carboxilase; PPdK = piruvato ortofosfato diquinase; RuBP = ribulose-1,5-bisfosfato; triose-P = triose fosfato.



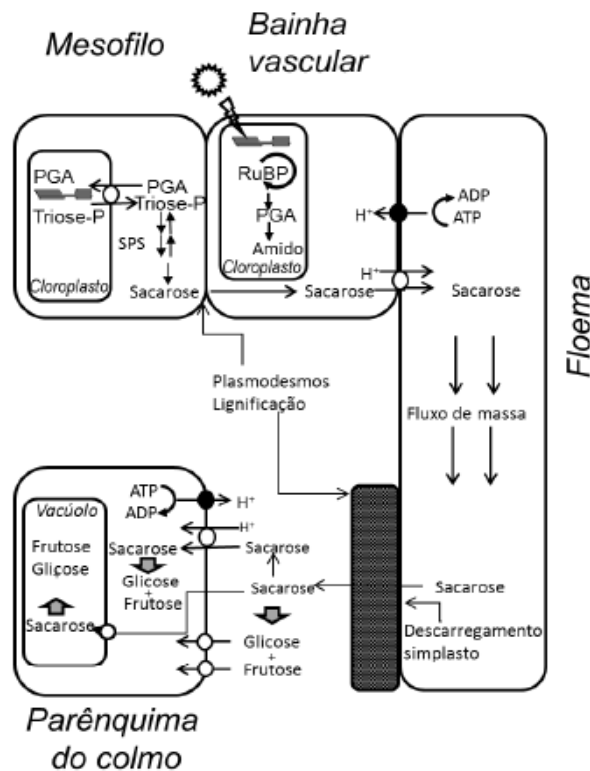
Fonte: Marchiori (2010)

Plantas com via de fotossíntese C4, como a cana-de-açúcar, são capazes de utilizarem melhor o nitrogênio do que plantas C3, tal característica ocorre devido a três causas principais: a alta concentração de  $\text{CO}_2$  nas células da bainha vascular permite que a Rubisco tenha atividade enzimática próxima a sua velocidade máxima de carboxilação, essa

característica quando considerando a mesma temperatura, as plantas C4 necessitam apenas da metade de Rubisco que é requerida para planta C3; a supressão da fotorrespiração aumenta a eficiência da Rubisco; e a capacidade de renovação da Rubisco em plantas C4 é de 20 a 30% maior que plantas C3, dessa forma para uma mesma taxa fotossintética as C4 requerem menos enzima. Essas características fisiológicas favorecem a alta produção de açúcares pela cana-de-açúcar (SAGE; PEARCY, 2000; TAIZ; ZEIGER, 2013).

A produção de sacarose em cana-de-açúcar está relacionada com a produção de fitomassa, sendo ambos os processos incrementados pela máxima interceptação de energia solar e/ ou alta eficiência na conversão de fitomassa (SINGELS et al., 2005). A interceptação de radiação está relacionada com a dimensão do aparato fotossintético, ou seja, com o índice de área foliar. O acúmulo de sacarose nos colmos é regulado pela capacidade de armazenar açúcar e pelo metabolismo e transporte de açúcar tanto na fonte como no dreno. O acúmulo de sacarose é um processo complexo envolvendo diversas etapas, como demonstrado na Figura 6. (GROF; CAMPBELL, 2001).

**Figura 6.** Esquema geral das etapas: produção, transporte e acúmulo de sacarose em cana-de-açúcar. PGA = fosfoglicerato; RuBP = ribulose-1,5-bisfosfato; triose-P = triose fosfato; ATP = adenosina trifosfato; ADP = adenosina difosfato.



Fonte: Machado (2013) adaptado de Grof; Campbell (2001).

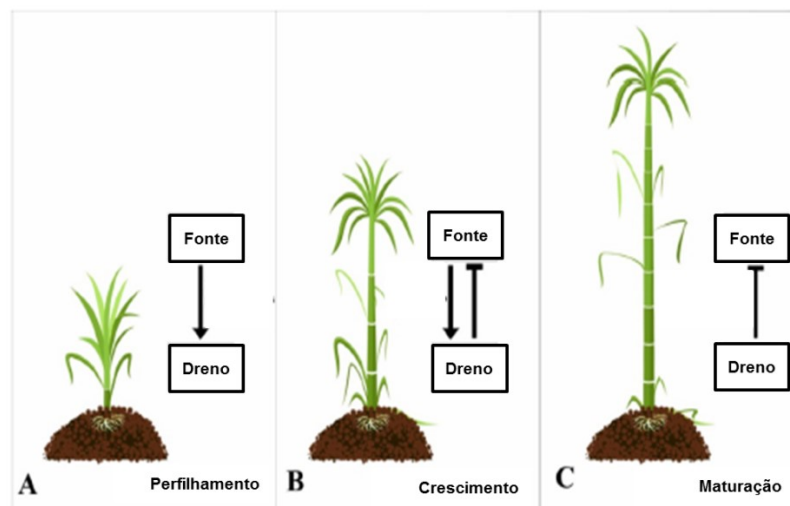


A regulação fotossintética na cana-de-açúcar vem sendo amplamente estudada seja por fatores exógenos ou endógenos (WANG et al., 2017). Como principais fatores exógenos na regulação pode-se afirmar: a influência da temperatura, a disponibilidade de água e a variação sazonal na porcentagem de CO<sub>2</sub> na folha (MACHADO et al., 2013; SALES et al., 2012, SALES et al., 2013). Por exemplo, a ocorrência simultânea de baixa temperatura noturna e da deficiência hídrica causa dano persistente na condutância estomática, na capacidade máxima da Rubisco, o que resulta em limitações difusivas, bioquímicas e fotoquímicas da fotossíntese da cana-de-açúcar (MACHADO et al., 2013).

As taxas fotossintéticas da cana-de-açúcar também são influenciadas por fatores endógenos como a relação dos órgãos que produzem os fotoassimilados (fonte) com os órgãos que importam esses recursos por não produzirem fotoassimilados para suprir a demanda (dreno) (McCORNICK; CRAMER; WATT, 2006; 2008).

A relação entre fonte e dreno na cana-de-açúcar deve ser vista dentro de um paradigma oferta-demanda, uma abordagem conceitual frequentemente negligenciada no estudo dessa cultura. O desacoplamento das vias de sinalização que medeiam o feedback negativo entre os tecidos da fonte e do dreno pode resultar em melhores taxas de assimilação das folhas e, conseqüentemente, levar ao aumento dos rendimentos de sacarose da cana-de-açúcar (Figura 7) (McCORNICK; WATT; CRAMER, 2009).

**Figura 7.** Comunicação fonte-dreno na cana-de-açúcar. (A) A atividade de fotossíntese é a mais alta em plantas de cana-de-açúcar no estágio de perfilhamento. Os fotoassimilados são fornecidos para o rápido crescimento das plantas. (B) A atividade de fotossíntese diminui em plantas de cana-de-açúcar no estágio de crescimento. A força do feedback do dreno inibe gradualmente a atividade fonte. (C) A atividade de fotossíntese é a menor em plantas de cana-de-açúcar no estágio maduro. Menor demanda dos drenos inibe a atividade da fonte.



Fonte: Adaptado de Whang et al. (2017)

### 3.3 Fertilizantes orgânicos e organominerais

A nutrição vegetal adequada é uma prática indiscutível para o crescimento da produtividade da cana-de-açúcar. Para esse aumento de produtividade é necessária uma alta oferta de nutrientes pelo uso de fertilizantes. No Brasil, a oferta de fertilizantes, sobretudo de NPK (Nitrogênio, Fósforo e Potássio), é atendida predominantemente pela importação de insumos. Entretanto, é possível mitigar a dependência dessas importações com pesquisas e novas tecnologias de fertilizantes de fontes alternativas de nutrientes e ainda promover a destinação ambientalmente mais adequada de resíduos agroindustriais com a produção de fertilizantes orgânicos e organominerais (CRUZ; PEREIRA; FIGUEIREDO, 2017).

Os fertilizantes orgânicos são os mais antigos empregados na agricultura, que por vezes, são denominados adubos naturais, em razão de sua origem, animal ou vegetal. A definição de fertilizante orgânico compreende em sua composição a presença de carbono degradável, sendo proveniente de resíduos de origem urbana, industrial ou agrícola (RAIJ, 2011).

O uso na agricultura de resíduos orgânicos, de origem agrícola, urbana ou industrial, é uma interessante alternativa de disposição, permitindo a reciclagem de nutrientes nos ecossistemas (TASSO JÚNIOR et al., 2007). Sob o ponto de vista ambiental, social e também econômico, a reutilização de resíduos na agricultura como adubo orgânico representa um grande benefício ao descarte inadequado, gerando uma mitigação do problema ambiental. E ainda se evita que esses resíduos sejam descartados de forma aleatória sem nenhum tratamento, como ainda ocorre no Brasil, onde a principal destinação desses resíduos são os aterros, o que diminui a longevidade e gera grande investimento para manutenção dos mesmos (PIRES; MATTIAZZO, 2008).

A principal vantagem do uso de resíduos, sob o ponto de vista agrícola, relaciona-se com o fornecimento de nutrientes e com os benefícios ligados ao seu componente orgânico, que pode manter ou mesmo aumentar o teor de matéria orgânica do solo. A liberação gradual desses nutrientes, a medida que os resíduos vão sendo decompostos, evita que os mesmos sejam lixiviados e favorece sua permanência no solo durante todo o desenvolvimento do vegetal. Portanto, os adubos orgânicos possuem elevado poder residual (KIEHL, 1985; PIRES; MATTIAZZO, 2008).

Dentre os benefícios da aplicação de adubos orgânicos para a qualidade do solo, destaca-se: o transporte e disponibilidade de micronutrientes, o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC), a redução dos teores de manganês, alumínio tóxico e acidez do solo,

beneficiando diretamente os vegetais por essas alterações químicas (RODRIGUES, 1994; LOPES, 1998; CARDOSO; OLIVEIRA, 2002).

A matéria orgânica no solo proveniente da adubação orgânica melhora as condições físicas e estruturais do solo com o aumento da infiltração de água, retendo água durante a seca e drenando em períodos chuvosos e conseqüentemente, diminuem as perdas por erosão. Além disso, melhora a nutrição das plantas em micronutrientes pela formação de quelatos, favorece o controle biológico pela maior população microbiana e exerce efeito de promotores de crescimento (LOPES, 1998; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Entretanto, a utilização dos resíduos orgânicos como fertilizantes na agricultura dever ser precedida de análises físico-químicas e biológicas, uma vez que os nutrientes presentes nos resíduos não estão em proporções adequadas para nutrição vegetal e ainda existe a possibilidade de presença de substâncias tóxicas e seu uso indiscriminado poderá acarretar em contaminações. Portanto, a gestão da aplicação destes resíduos é fundamental para o sucesso da adubação orgânica (PIRES; MATTIAZZO, 2008; ROSSOL et al., 2012).

Dessa forma, o uso de resíduo orgânico como fertilizante em alguma cultura agrícola apenas deverá ser realizado após a eliminação de substâncias tóxicas, de possíveis micro-organismos patogênicos e de metais pesados, de acordo com as características do resíduo em si e ainda estar de acordo com a legislação pertinente (ROSSOL et al., 2012).

No Brasil, desde a década de 80 os adubos orgânicos com base nos resíduos agroindustriais e urbanos estão sendo combinados com nutrientes minerais dando origem aos fertilizantes organominerais. Entretanto, o emprego dos fertilizantes organominerais no país é recente quando comparado aos centenários anos de experimento com os fertilizantes minerais (KIEHL, 2008).

A origem dos fertilizantes organominerais remete-se a misturas manuais adotadas tradicionalmente nas práticas agrícolas pela adição de resíduos orgânicos a quantidades de NPK. De acordo com as respostas das cultivares, essas misturas foram sendo aperfeiçoadas com a introdução de maior quantidade de nutrientes minerais. Entretanto, se a mistura manual entre frações orgânicas e minerais não resultar em eficiência nutricional superior ao adubo orgânico simples e não atender à legislação quanto às quantidades mínimas de nutrientes, não é possível considerá-la fertilizante organomineral. Neste contexto, a área de fertilizantes organominerais representa oportunidades para inovação no mercado de fertilizantes (CRUZ; PEREIRA; FIGUEIREDO, 2017).

A legislação brasileira que trata o tema de fertilizantes é composta da Lei Federal 6.894, de 16 de dezembro de 1980 (BRASIL, 1980), de sua regulamentação dada pelo

Decreto 4.954, de 14 de janeiro de 2004 (BRASIL, 2004), bem como da Instrução Normativa SDA/Mapa 25, de 28 de julho de 2009 (BRASIL, 2009) que define fertilizante organomineral como: “produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos”.

Segundo a Instrução Normativa SDA/Mapa 25/2009, os fertilizantes organominerais podem ser classificados de acordo com a fonte de origem da matéria orgânica presente em sua composição, sendo detalhada no Capítulo II, Art. 2º (BRASIL, 2009), como:

- “Classe A: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, onde não sejam utilizados, no processo, metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, resultando em produto de utilização segura na agricultura”;
- “Classe B: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima oriunda de processamento da atividade industrial ou da agroindústria, onde metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo, resultando em produto de utilização segura na agricultura”;
- “Classe C: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura”;
- “Classe D: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura”.

Essa atualização na legislação foi de grande importância para os produtores, pois assim há uma garantia mínima do produto que será adquirido, ajudando no planejamento da adubação. Destaca-se ainda as especificações, garantias e características dos organominerais para a aplicação de produtos sólidos no solo que estão detalhadas no CAPÍTULO III da INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 25, DE 23 DE JULHO DE 2009, SEÇÃO V, Art. 8º, § 1º que consta que os organominerais devem apresentar, no mínimo, 8% de carbono orgânico; CTC de 80 mmolc kg<sup>-1</sup>; 10% de macronutrientes primários isolados (N, P, K) ou em misturas (NP, NK, PK ou NPK); 5% de micronutrientes secundários e umidade máxima de 30% (BRASIL, 2009).

Os fertilizantes organominerais apresentam resultados positivos quando aplicados, muitas vezes apresentando melhores resultados que os fertilizantes minerais ou orgânicos. Com a aplicação do fertilizante organomineral há redução da adsorção de fósforo no solo, pois há elevação da interação planta-mineral. Apresentam melhor taxa de mineralização, principalmente para nutrientes como potássio, nitrogênio e fósforo, essa característica é de baixa eficiência quando se trata exclusivamente de adubos orgânicos (TAIZ; ZEIGER, 2013, p. 105).

Conforme Laforet (2013), a nova geração de fertilizantes orgânicos e organominerais são exemplos de produtos que aliam a nutrição da planta à preservação dos ecossistemas dos solos. Esses produtos permitem economia com gastos de insumos químicos, e promovem o reaproveitamento de subprodutos das agroindústrias e de outras fontes de biomassa. O uso dos fertilizantes organominerais quando comparados aos fertilizantes convencionais é superior no aproveitamento de nutrientes disponíveis. Os primeiros podem apresentar aproveitamento de cerca de 70% para nitrogênio, 50% para fósforo e 80% para potássio, quando comparados aos fertilizantes minerais (Tabela 1).

**Tabela 1.** Relação de aproveitamento de nutrientes por tipo de fertilizante (%).

| <b>Fertilizante</b> | <b>N</b>                      | <b>P</b>                        | <b>K</b>   |
|---------------------|-------------------------------|---------------------------------|------------|
| Mineral             | 50                            | 20-50                           | 60         |
| Organomineral       | 70                            | >50                             | 80         |
| Perdas              | Volatilização<br>e lixiviação | Precipitação/fixação<br>ao solo | Lixiviação |

Fonte: Laforet (2013)

No fertilizante organomineral, os nutrientes solúveis estão envoltos por uma matriz orgânica que protege o fósforo do contato direto com o solo evitando a perda por fixação. Em virtude da presença de maior quantidade de ânions orgânicos nos grânulos de fertilizantes organominerais, na qual competem pelos sítios de adsorção de P, ocorre redução momentânea da fixação desse nutriente, favorecendo a absorção pelas plantas. Do mesmo modo, a camada de matéria orgânica dificulta a lixiviação do nitrogênio e do potássio, já que a fase orgânica é insolúvel em água (BENITES et al., 2010).

As vantagens do uso do fertilizante organomineral incluem o efeito de “slow release”, ou seja, ao entrar em contato com o solo e sob efeito da biodegradação, ocorre

liberação de nutrientes de forma contínua, reduzindo a possibilidade de perdas por lixiviação e mantendo a planta nutrida constantemente durante todo o período de crescimento (TEIXEIRA; SOUSA; KORNDÖRFER, 2014).

Vários estudos para avaliar os efeitos dos fertilizantes organominerais estão sendo realizados em diversas culturas, como café (FERNANDES et al., 2007); em hortaliças como no alface (LUZ et al., 2010); em pinhão manso (CAMARGO et al., 2013); em milho (GURGEL et al., 2015); em capim braquiária (RESENDE JÚNIOR et al., 2016) e em cana-de-açúcar (RAMOS et al., 2017; TEIXEIRA; SOUSA; KORNDÖRFER, 2014).

Pesquisa realizada por Korndörfer (2012) em cana-de-açúcar com fertilizante organomineral mostrou-se superior em relação à adubação convencional trazendo incrementos na produtividade. A aplicação de 211,5 kg ha<sup>-1</sup> do fertilizante organomineral 10-00-24 foi suficiente para atingir a mesma produtividade obtida com a aplicação de 500 kg ha<sup>-1</sup> do fertilizante mineral 10-00-30. Segundo Korndörfer (2012) esses resultados devem-se ao efeito da liberação lenta dos nutrientes associado à sua tecnologia de produção e ao fato da matéria orgânica empregada ter sido previamente tratada por processo de biodegradação.

Ramos et al. (2017) demonstraram que a produtividade da cana-de-açúcar foi maior com cama de frango e fertilizante organomineral em relação à adubação mineral, e a adubação organomineral foi superior à cama de frango. Houve um aumento nos níveis de fósforo no solo pela fertilização com cama de frango e fertilizante organomineral. E ainda os níveis de K, Ca e Mg no solo, acidez e matéria orgânica do solo e níveis de macronutrientes na cana-de-açúcar não se alteraram com a aplicação de cama de frango e organomineral.

Santos et al. (2009) afirmam que o uso de adubos organominerais liberam resíduos eventuais, como ácidos húmicos e álcoois, que fornecem substâncias como fenóis que contribuem para aumentar a disponibilidade de fósforo no solo.

Em avaliação de resposta da cana-de-açúcar a doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> fornecidas por fertilizante organomineral, Teixeira; Sousa; Korndörfer (2014) verificaram que as duas fontes fosfatadas (mineral e organomineral) foram semelhantes em influenciar os parâmetros tecnológicos da cana-planta. Concluíram que a aplicação do fertilizante organomineral pode proporcionar uma economia de 18,8% no uso de fertilizantes e o uso da dose de 130 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com organomineral pode substituir a adubação mineral fosfatada na dose de 160 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Gurgel e colaboradores (2015) também encontram resultados semelhantes na substituição de adubação mineral para fertilizantes organominerais em milho. Sua pesquisa utilizando como fonte de fertilizante organomineral, o BIOFOM (biofertilizante

organomineral formulado com vinhaça concentrada, torta de filtro, cinzas de caldeira e fuligem das chaminés, e complementado com fertilizantes minerais), demonstrou que pode substituir, parcial ou totalmente, a utilização do fertilizante mineral. E enfatizam que o uso desse tipo de fertilizante reduz a geração de resíduos da agroindústria sucroalcooleira.

Em relação ao componente orgânico utilizado na formulação de fertilizantes organominerais, a turfa foi majoritariamente usada até ao ano 2000. Entretanto, o desenvolvimento de novas tecnologias vem favorecendo a incorporação de diferentes fontes de biomassa, tais como resíduos da agroindústria e do saneamento básico. Essa tendência de substituição de fontes não renováveis por fontes renováveis no segmento de fertilizantes atende à Política Nacional de Resíduos Sólidos, a qual determina a correta destinação e tratamento dos resíduos (CRUZ; PEREIRA; FIGUEIREDO, 2017).

Dentre os diversos resíduos que podem ser destinados para a agricultura para produção de fertilizantes organominerais, algumas fontes de insumo possuem maior potencial pela quantidade de nutrientes que contém, assim como pelas vantagens logísticas e processamento dos resíduos. Uma dessas fontes é proveniente dos resíduos do setor sucroalcooleiro, como exemplo a torta de filtro, o qual apresenta potencial expressivo, em função da alta quantidade de nutrientes alocados (CRUZ; PEREIRA; FIGUEIREDO, 2017).

O biossólido, proveniente do lodo de esgoto das Estações de Tratamento de Esgoto, é outro resíduo com grande potencial nutritivo e econômico para o mercado dos fertilizantes organominerais, principalmente pela grande produção gerada em função do crescimento da população humana e a necessidade de investimentos em saneamento básico (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

### *3.3.1 Torta de filtro*

A torta de filtro é um composto proveniente da filtração do caldo extraído das moendas no filtro rotativo, sendo um resíduo da indústria sucroalcooleira. Anteriormente, este resíduo era obtido somente no processo de produção de açúcar, mas atualmente as usinas alcooleiras também produzem a torta de filtro (RAMOS et al., 2017). Apresenta cerca de 70% de umidade constituída com alto teor de matéria orgânica, cálcio, potássio, magnésio, nitrogênio e em torno de 1,2 a 1,8% de fósforo (ROSSETO; SANTIAGO, 2007).

Santos et al. (2010) define a torta de filtro como um resíduo obtido de uma mistura de bagaço moído e lodo da decantação proveniente do processo de clarificação do

açúcar. Sua composição de nutrientes é dependente da variedade e da maturação da cana, sendo produzido de 30 kg a 40 kg para cada tonelada de cana moída.

A obtenção da torta de filtro na indústria sucroalcooleira ocorre pelo processo de remoção das impurezas presentes no caldo de cana por meio de floculação ou decantação, resultando um lodo rico em açúcar, que é tratado em filtro rotativo a vácuo, que extrai o açúcar residual através de lavagem e filtração. Este resíduo é, então, prensado para reduzir sua umidade, que inicialmente é de 75%, sendo produzida de forma contínua (HASSUANI, 2005; NOGUEIRA; GARCIA, 2013).

O uso da torta de filtro como fertilizante organomineral vem se intensificando desde 1999, quando a mudança cambial e a elevação dos preços dos fertilizantes químicos encareceram a adubação e a questão ambiental ganhou mais espaço (ROSSETO; SANTIAGO, 2007). Esse resíduo apresentou bons resultados para a adubação, pois com o aumento das doses há uma resposta positiva e crescente na produtividade de algumas culturas, como a cana-de-açúcar (FRAVET et al., 2010; SANTOS et al., 2010).

Outros estudos também corroboram com esses dados, Santos et al. (2011) em avaliação da qualidade tecnológica da produtividade da cana-de-açúcar verificaram que o uso da torta filtro enriquecida com fosfato solúvel aplicada no sulco de plantio da cana-de-açúcar tem potencial para substituir parcialmente a adubação química fosfatada visando à melhoria na qualidade e na produtividade de açúcar. Sousa (2014) também encontrou resultados positivos para produtividade da cana-de-açúcar a partir da aplicação de organomineral à base de torta de filtro enriquecida e peletizada. O fertilizante organomineral apresentou até 24% a mais de eficiência na produção de colmo da cana-de-açúcar, mostrando-se mais eficiente que o fertilizante mineral tanto em cana-planta quanto em cana-soca.

### *3.3.2 Biossólido*

O biossólido constitui-se de um composto organomineral cujas características químicas, físicas e biológicas estão ligadas à origem dos dejetos. Este é o resultado da prática de remoção dos resíduos sólidos dos esgotos, a qual se constitui numa forma de saneamento mais usada e promissora para minimizar os efeitos da poluição ambiental (PIRES, 2006; MARQUES et al., 2007).

O processo de tratamento do esgoto tem como objetivo a separação da parte líquida da sólida onde o efluente tratado retornará aos corpos receptores sem causar danos ao



meio ambiente (CORRÊA et al; 2007). Durante o processo, gera-se um lodo rico em matéria orgânica e nutrientes denominado lodo de esgoto, considerado subproduto do tratamento. Dentre as várias alternativas de disposição final, seu reuso para fins agrícolas se adequa pela riqueza em micronutrientes, macronutrientes e matéria orgânica atuando como condicionante e fertilizante do solo (CAMARGO, 2006).

Segundo Von Sperling e Andreoli (2001) o termo lodo é utilizado para designar os subprodutos sólidos do tratamento de esgotos e ainda de acordo com Miki et al (2001) o termo lodo é o resíduo sólido gerado nos sistemas de tratamento de esgotos, o qual é removido da fase líquida e que necessita de tratamento e disposição final.

De acordo com Bettiol; Camargo (2006) a disposição de esgotos na agricultura é uma prática antiga. Os primeiros relatos desse uso são provenientes da China, chegando ao ocidente no século XVI. A irrigação com efluentes de esgotos já era praticada pela Prússia desde 1560 e na Inglaterra, por volta de 1800, que devido ao combate do cólera, foram desenvolvidos muitas ações para a utilização agrícola dos efluentes de esgoto. Vários países têm adotado a prática do uso do lodo de esgoto com incorporação no solo para fins agrícolas. Entretanto, no Brasil essa experiência é pouca difundida até mesmo pelo fato de muitas cidades do país não possuírem estações de tratamento de esgoto.

A disposição do lodo de esgoto no solo, como a possibilidade de aproveitamento na agricultura como fertilizante e condicionador de solos, torna-se cada vez mais uma ferramenta importante para o saneamento ambiental. Atualmente, vários países adotam a prática do uso do lodo de esgoto para aplicação no solo, com percentuais altos de aproveitamento como em Luxemburgo com 80%, França com 75%, Espanha e Irlanda com 70%, Reino Unido com 65% e ainda países com um percentual em crescimento como os Estados Unidos com 54% e Dinamarca e Portugal com 50%. Enquanto que no Brasil esse percentual não chega a 3% (MATOS, 2017).

No Brasil, essa estimativa sobre a utilização do lodo de esgoto em áreas agrícolas ainda é pouco confiável, evidenciando um sistema de saneamento público precário. Quanto ao tratamento dos esgotos, observa-se que o índice médio do país chega a 44,9% para a estimativa dos esgotos gerados e 74,9% para os esgotos que são coletados. Cabe ressaltar, que o volume de esgotos tratados saltou de 3,81 bilhões de m<sup>3</sup> em 2015 para 4,06 bilhões de m<sup>3</sup> em 2016, correspondendo a um incremento de 6,6% (BRASIL, 2018).

Entretanto, o uso de lodo de esgoto na agricultura não pode ser de forma indiscriminada, uma vez que o mesmo possui contaminantes orgânicos (patógenos) e inorgânicos (metais pesados). Para tanto, a Resolução CONAMA nº 375/2006 exige o

monitoramento da área que receberá o lodo de esgoto estabelecendo parâmetros máximos de concentração de elementos inorgânicos no solo (BRASIL, 2006).

O termo 'biossólido' foi adotado na área do saneamento pela indústria de tratamento de águas residuárias na década de 90 para instituir o lodo de esgoto que foi processado a fim de permitir, de forma segura, sua reciclagem. A *Water Environment Federation* (WEF) sugere o termo "biossólido" para designar o lodo produzido pelos sistemas de tratamento biológicos de esgotos, desde que seu destino final tenha uma finalidade útil. O termo biossólido é reservado para um produto estabilizado, caso contrário, são empregados os termos torta, lodo ou sólidos (WEF, 1996; FERNANDES, 2000).

Segundo NEBRA (North East Biosolids & Residuals Association, 2017) os biossólidos são os subprodutos orgânicos ricos em nutrientes resultantes do tratamento de águas residuais. Os biossólidos devem ser tratados e testados para atenderem a rigorosos padrões federais e estaduais para uso como fertilizantes e adubos do solo. Os biossólidos fornecem nutrientes vegetais e matéria orgânica aos solos. Eles também podem ser usados para produzir energia renovável por meio da digestão e produção de metano ("biogás") ou por secagem e processamento térmico.

Vários autores apontam o uso do biossólido de maneira parcial ou mesmo integral como possibilidade de substituir a adubação mineral e ainda, aumentar a produtividade e a reciclagem de nutrientes com prática sustentável (MARQUES et al., 2007; CHIBA et al., 2008; CHIBA et al. 2009; DEON et al., 2010; SILVA et al., 2010).

A disposição do biossólido no solo apresenta vários impactos positivos. Potencializa a capacidade de armazenamento e infiltração de água no solo, pois utiliza o solo como depurador de carga orgânica reciclando os nutrientes contidos que serão absorvidos pela planta. Melhora a estruturação e estabilização dos agregados do solo, diminuindo a plasticidade e pegajosidade. A disponibilização de nutrientes no solo proporciona melhoria nas condições de pH de solo e quelatação de elementos tóxicos, como o alumínio e cobre. Aumenta o CTC do solo para 200 a 600 cmolc kg<sup>-1</sup>, além de efeitos benéficos à microbiologia do solo (CORRÊA et al., 2007; BETTIOL; CAMARGO, 2006, MATOS, 2017).

Entretanto, para utilização do lodo de esgoto como biossólido é necessário estabilizá-lo e esterilizá-lo. O Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA definiu critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto que são gerados nas estações de tratamento de esgoto sanitário. Esses critérios se encontram na Resolução N° 375 decretada em 29 de Agosto de 2006. A Resolução leva em consideração a necessidade de uma solução

adequada ao meio ambiente e à saúde da população para a disposição final dos produtos vindos dos processos de tratamento do esgoto sanitário (BRASIL, 2006).

Consta ainda que as estações de tratamento de esgoto devem ser monitoradas com certa frequência dependendo da quantidade de lodo de esgoto que será utilizado em áreas agrícolas, podendo ser até mensalmente caso a dose utilizada seja de mais de 15.000 t/ano. Além disso, o lodo de esgoto representa uma fonte de matéria orgânica e nutrientes capazes de trazer vários benefícios para a agricultura, o que se enquadra no princípio de reutilização de resíduos de maneira sustentável (BRASIL, 2006).

Neste mesmo sentido no Estado de São Paulo a CETESB elaborou a norma P4.230 de 1999 que também disciplina o uso do lodo de esgoto em solo agrícola (CETESB, 1999). Todavia, para comercializar qualquer resíduo ou substrato com potencial agrícola no Brasil é necessário o registro do insumo no Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA). A Instrução Normativa nº 25 de 23 de Julho de 2009, aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura e atesta que o lodo de esgoto após tratamento ou higienização adequada é classificado como fertilizante orgânico, classe D (BRASIL, 2009).

A presença de agentes patogênicos é outro fator de avaliação. Há duas classificações que podem ser atribuídas ao lodo de esgoto, essas dependem das quantidades de coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos, presença ou ausência de *Salmonella* e/ou vírus. Dependendo da classificação que se enquadrará o lodo de esgoto ele sofrerá restrições quanto ao uso em determinadas culturas, devendo ser seguido o que consta na resolução do CONAMA, para evitar qualquer tipo de contaminação (BRASIL, 2006).

Visando a estabilidade e a redução dos patógenos no lodo de esgoto vem-se utilizando produtos alcalinos após a digestão aeróbica. Devido ao baixo preço, a cal é um dos produtos alcalinos mais utilizados no saneamento do lodo de esgoto. Para essa finalidade pode-se utilizar tanto a cal hidratada quanto a cal virgem. Apesar da reação exotérmica que ocorre do contato da água, abundantemente presente no lodo de esgoto, com a cal, esse aumento de temperatura provocado não elimina os microrganismos responsáveis pela digestão aeróbica do material orgânico (FERNANDES, 2000). Após esse processo o lodo de esgoto está pronto para ser utilizado diretamente na agricultura ou para outras finalidades, como o uso para a produção de fertilizantes organominerais.

Os benefícios do uso do biossólido como fonte de fertilizante organomineral em grandes culturas têm sido observados em vários estudos. Silva et al. (2001) verificou que o

lodo de esgoto aumenta a fertilidade do solo pela diminuição da acidez e fornecimento de nutrientes para a cultura de cana-de-açúcar. Silva et al. (1998) encontraram aumentos na produtividade da cana-de-açúcar quando aplicaram  $30 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo de esgoto.

Marques et al. (2007) verificaram que a incorporação do lodo de esgoto proporcionou melhoria nas condições gerais de fertilidade do solo, principalmente pela diminuição da acidez potencial devido aumento nos valores de pH, proporcionalmente à dose aplicada. E ainda que, a associação do lodo de esgoto com a adubação mineral, nas condições em que foi conduzido o experimento, permite a economia de metade da adubação mineral recomendada, mantendo-se a produtividade, as características de solo, em sua maioria, e as características tecnológicas da cana-de-açúcar.

Barros et al (2011) em avaliação do uso de biossólido tratado com diferentes métodos químicos na cultura do milho, observaram que a aplicação de biossólido aumentou os teores dos macronutrientes na parte aérea das plantas. Os teores de Zn, Cu, Mn, Fe e Pb nas plantas, estiveram abaixo dos limites fitotóxicos. Concluíram ainda que os tratamentos alternativos do lodo, como com cal, hipoclorito de sódio, peróxido de hidrogênio, ácido acético e peracético podem ser eficientes no controle de patógenos e facilitam a reciclagem agrícola de biossólidos.

Gonçalves Jr. et al. (2012) demonstraram que a aplicação de biossólido na cultura do milho não influenciou na absorção inicial dos macronutrientes, porém proporcionou aumento nos teores de Cu e Zn no tecido foliar. Também foram encontradas concentrações de Pb no tecido foliar do milho, fato que merece atenção, pois aplicações sucessivas de biossólido podem causar aumento das concentrações deste metal no solo e consequentemente nos órgãos das plantas.

Camargo et al. (2013) em avaliação do potencial nutricional do biossólido para produção de mudas de pinhão-mansão em tubetes, demonstraram que houve grande contribuição do biossólido nos teores de nitrogênio, enxofre e micronutrientes foliares, em plantas de pinhão-mansão. As folhas apresentaram concentração de macronutrientes com a seguinte ordem:  $\text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{P} > \text{S}$ . E o acúmulo de micronutrientes apresentou a seguinte ordem:  $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{B} > \text{Cu}$ .

Em estudo visando avaliar a produtividade e os teores de nutrientes, no solo e na planta de girassol, adubada com lodo de esgoto submetido a diferentes processos de estabilização, verificou-se que as diferentes formas de tratamento do lodo de esgoto não influenciaram a produtividade; entretanto, a aplicação desse resíduo, independentemente do

método de estabilização empregado, mostrou-se mais eficiente que a adubação mineral e que o tratamento testemunha (NASCIMENTO et al., 2013).

Dados semelhantes foram encontrados por Oliveira et al. (2016) em cultura do sorgo submetida a adubação com fertilizantes organominerais. Verificaram que em condições de estufa, os fertilizantes organominerais a base de biossólido e outras fontes de matéria orgânica, mostraram aumento da biomassa vegetal, altura da planta, diâmetro do caule, clorofila a e b e área foliar em relação ao controle (sem fertilizante) ou fertilização mineral. Os autores concluíram que os fertilizantes organominerais poderá ser um substituto viável para fertilização exclusivamente mineral.

Afáz et al. (2017) em aplicação de composto de lodo de esgoto em plantação de Eucalipto observou um desenvolvimento inicial satisfatório das plantas, não havendo prejuízo em termos de acúmulo de matéria seca, taxa de crescimento ou acúmulo de nutrientes nas folhas. Verificou ainda que, a matéria seca das plantas foi maior com a adição de 50% do fertilizante organomineral do que o mineral, concluindo que o lodo de esgoto pode ser utilizado em substituição ao adubo mineral no cultivo do eucalipto.

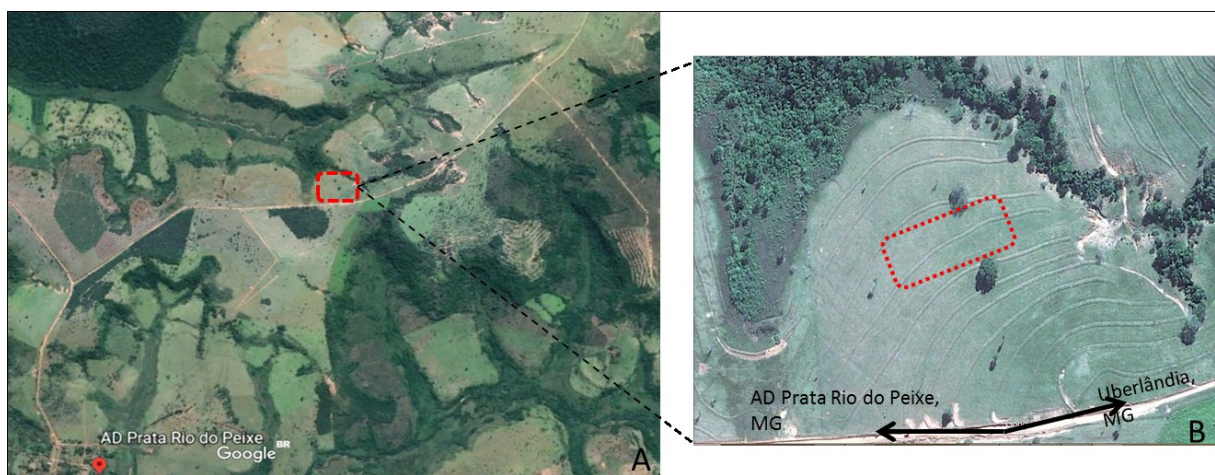
Resende Júnior et al. (2016) em análise do crescimento inicial do capim *Urochloa brizantha* cv *Marandu* adubado com fertilizantes orgânico, mineral e organomineral a base de biossólido, concluíram que o biossólido fornece benefícios agronômicos em relação aos demais.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Características da área experimental

O trabalho foi realizado na Fazenda Experimental São José, da Companhia Mineira de Açúcar e Álcool (CMAA), Unidade Vale do Tijuco, situada no povoado do Rio Peixe, distrito do município de Prata, MG. Localizada nas coordenadas 19° 29' 59" S e 48° 28' 26" W, a uma altitude de 780 metros (Figura 8).

**Figura 8.** Vista área da Fazenda experimental São José por imagem de satélite via Google Earth (2018). A – distância de ampliação 9,89 km; B – distância de ampliação 1,38 km.

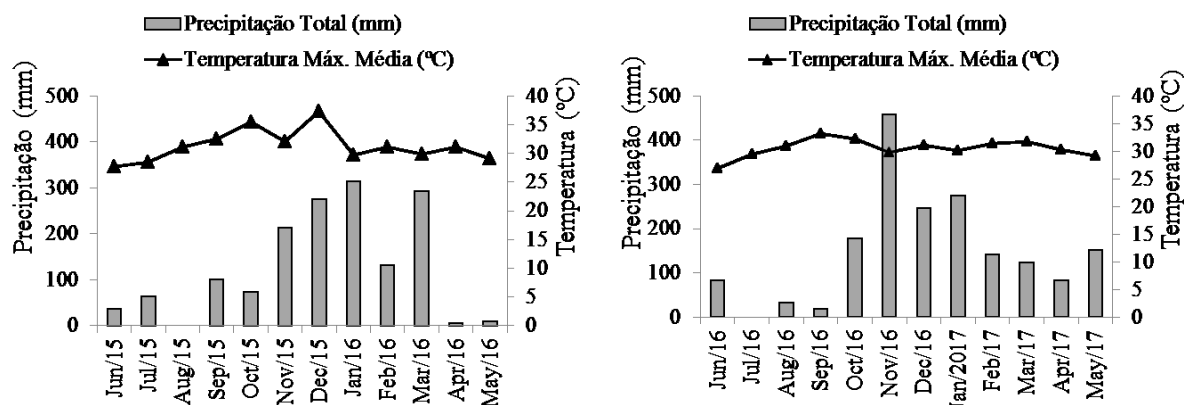


Fonte: Google Earth (2018).

O clima predominante é o tropical semi-úmido, classificado de acordo com Köppen-Geiger como Aw (clima tropical com estação seca de inverno). As chuvas concentram-se entre os meses de novembro a março, com precipitação média anual em torno de 1400 mm, com períodos de seca entre os meses de julho e agosto. A temperatura máxima média ocorre nos meses novembro a fevereiro variando 31 a 36°C. (IBGE, 2018). Os detalhes dos dados meteorológicos no período de cada ciclo de cultivo encontram-se na Figura 9.

O experimento foi instalado a montante de uma vereda a distância de aproximadamente 200 metros. O solo foi classificado como Latossolo Amarelo Distrófico (EMBRAPA, 2013). A amostragem e análise química do solo realizado nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm caracterizou como um solo arenoso com 72% de areia, 18,5% de argila e 9,5% de silte com composição química descrita na tabela 2.

**Figura 9.** Médias mensais de chuva (mm) e da temperatura máxima média na Fazenda Experimental São José, Prata, MG durante o ciclo de cultivo: cana-planta (Jun/15 – May/16) e 1ª cana-soca (Jun/16 – May/17).



Fonte: elaborado pelo autor baseado nos dados do BDMEP-INMET Estação: Uberaba-A568 (2018)

**Tabela 2.** Caracterização química do solo do local de estudo anterior a instalação do experimento em duas profundidades.

| Prof.<br>(cm) | pH<br>(H <sub>2</sub> O) | Ca  | Mg  | Al  | P                         | K  | H+Al                                  | CTC  | V         | m | M.O.                  |
|---------------|--------------------------|---|-----|-----|---------------------------|----|---------------------------------------|------|-----------|---|-----------------------|
|               | 1: 2,5                   | -----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |     |     | ---mg dm <sup>-3</sup> -- |    | -cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> - |      | ----%---- |   | -g kg <sup>-1</sup> - |
| 0-20          | 5,7                      | 1,1   | 0,5 | 0,0 | 6,7                       | 88 | 1,2                                   | 3,03 | 60        | 0 | 2,0                   |
| 20-40         | 4,7                      | 1,0   | 0,3 | 0,2 | 2,3                       | 70 | 1,6                                   | 3,08 | 48        | 9 | 1,4                   |

Prof. = profundidade; pH em H<sub>2</sub>O; Ca, Mg, Al, (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); P, K = (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>) P disponível (extrator Mehlich<sup>-1</sup>); H + Al = (Solução Tampão – SMP a pH 7,5); CTC a pH 7,0; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio, M.O. = Método Colorimétrico. Metodologias baseadas em EMBRAPA (2011). (Dados fornecidos pela Usina CMAA).

Fonte: elaborado pelo autor.

A aplicação do calcário foi realizada 60 dias antes do plantio com aplicação de 2,4 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico juntamente com o gesso (1,5 t ha<sup>-1</sup>). Posteriormente foi realizado a fosfatagem com 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. A aração do solo foi realizada com arado de aivecas com largura de corte de 28,8 cm espaçadas de 81 cm. Posterior realizou-se o nivelamento do solo com grade niveladora com discos de 36 x 22 polegadas. Ressalta-se que essa área era coberta por cerca de dez anos de pastagem com início de degradação.

## 4.2 Material vegetal - genótipo

A variedade de cana-de-açúcar selecionada foi a RB 92579, é um genótipo indicado para manejo de colheita em meio de safra. Apresenta hábito de crescimento

levemente decumbente, ótima uniformidade biométrica de diâmetro e altura de colmos e perfilhamento médio. É um genótipo oriundo da seleção da região do Nordeste do Brasil e possui características de formação de um canavial com longevidade de soqueiras, produtividade média/alta (média de cinco cortes) e média teor de sacarose. E ainda, apresenta bom fechamento de entrelinhas no canavial e comportamento eficiente para o plantio e colheita mecanizada (DAROS, OLIVEIRA, BARBOSA, 2015).

#### 4.3 Obtenção do fertilizante organomineral

A adubação recomendada para o plantio foi de  $570 \text{ kg ha}^{-1}$  da formulação 04-21-07 e cobertura de  $570 \text{ kg ha}^{-1}$  de 07-00-28 + 0,7% de B aos 150 dias após o plantio (ALVAREZ V. et al., 1999). Como fonte de matéria orgânica para a composição do fertilizante organomineral utilizou-se como base o biossólido e a torta de filtro.

O biossólido foi produzido a partir do lodo de esgoto higienizado extraído da estação de tratamento de esgoto do Departamento Municipal de Água e Esgoto da cidade de Uberlândia – MG (Figura 10). A estação é composta inicialmente por um sistema de gradeamento e desarenador (tratamento primário ou preliminar), seguido por um conjunto de reatores anaeróbicos do tipo UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor), sistemas com polimento físico-químico, centrífugas e sistemas geotêxtil destinado às etapas de desaguamento do lodo de esgoto.

**Figura 10.** Lodo de esgoto proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto – DMAE/Uberlândia-MG, para ser aproveitado para fins agrícola.



Fonte: Reprodução/TV Integração (2016)



O lodo de esgoto foi centrifugado separando-se os sólidos. Este era composto por 70% de umidade e 30% de sólidos. O lodo de esgoto, ainda úmido passou por tratamento químico incorporando-se 30% de cal hidratada sobre a parte sólida existente no centrifugado. Após incorporando com uso de betoneira, o material foi acondicionado em recipientes retangulares de zinco galvanizado (30 x 30 x 100 cm). Estes foram cobertos por uma lona transparente e expostos à luz solar por 15 dias consecutivos. Posteriormente, retirou-se a lona deixando-se secar ao sol até por aproximadamente 30 dias estabilizando em 20% de umidade (Figura 11).

**Figura 11.** Processo de higienização do lodo de esgoto. A - Resíduo sólido após centrifugação; B - Tratamento com cal hidratada; C - Exposição à luz solar; D - Secagem ao sol.



Fonte: Moraes (2015)

O biossólido foi caracterizado quimicamente (Tabela 3) e de acordo com laudo laboratorial do biossólido e com a necessidade de adubação do plantio, o fertilizante organomineral foi preparado por homogeneização contendo 39,3% de biossólido, 12,2% de cloreto de potássio (58% K<sub>2</sub>O) farelado, 47% de fosfato monoamônico (12% N e 44% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) farelado e 1,5% de água. Para a adubação de cobertura foi homogeneizado 31% de biossólido, 15% de ureia polimerizada (45% N), 48,3% de cloreto de potássio farelado, 4,2% de ácido bórico e 1,50% de água (Figura 12).

**Tabela 3.** Caracterização química do biossólido na base seca 110 °C.

| Atributo              | Unid.              | Base Seca<br>110°C | Atributo | Unid.               | Base Seca<br>110°C |
|-----------------------|--------------------|--------------------|----------|---------------------|--------------------|
| pH CaCl <sub>2</sub>  | pH                 | 8,10               | Enxofre  | %                   | 1,31               |
| Densidade             | g cm <sup>-3</sup> | 0,66               | Boro     | mg kg <sup>-1</sup> | 10                 |
| Umidade Total         | %                  | 10,96              | Sódio    | mg kg <sup>-1</sup> | 201                |
| Nitrogênio Total      | %                  | 0,99               | Manganês | mg kg <sup>-1</sup> | 209                |
| Mat. Orgânica Total   | %                  | 49,90              | Cobre    | mg kg <sup>-1</sup> | 135                |
| Carbono Total         | %                  | 27,72              | Zinco    | mg kg <sup>-1</sup> | 1042               |
| Resíduo Mineral Total | %                  | 50,67              | Ferro    | mg kg <sup>-1</sup> | 27236              |
| Relação C/N           | %                  | 28/1               | Cádmio   | mg kg <sup>-1</sup> | 1,4                |
| Fósforo               | %                  | 2,80               | Mercúrio | mg kg <sup>-1</sup> | 0,7                |
| Potássio              | %                  | 0,30               | Cromo    | mg kg <sup>-1</sup> | 931                |
| Cálcio                | %                  | 8,25               | Níquel   | mg kg <sup>-1</sup> | 250                |
| Magnésio              | %                  | 2,48               |          |                     |                    |

N - [N Total] = Digestão Sulfúrica. P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn = Digestão Nitro Perclórico. B = Colorimétrico Azometina-H. Metodologias baseadas em Embrapa (2011). (Dados fornecidos pela empresa Geociclo)

Fonte: elaborado pelo autor.

**Figura 12.** Composição do fertilizante organomineral na adubação de cobertura: biossólido (cinza), ureia (rósea), cloreto de potássio (laranja) e ácido bórico (branco).



Fonte: Moraes (2015)

A produção do biossólido final foi realizada em parceria com a empresa Geociclo Biotecnologia S/A (Uberlândia, MG), a qual realizou as análises microbiológicas (coliformes totais e termotolerantes) e dos valores totais de metais pesados: cádmio, cromo, níquel e chumbo. O nível de coliformes totais e termotolerantes e as concentrações médias de metais pesados se mantiveram nos valores aceitáveis pela Resolução CONAMA n. 375/2006. O biossólido foi incorporado num polímero biodegradável solúvel em água, que tem a função de proporcionar a liberação gradual dos nutrientes. Esse polímero orgânico biodegradável retém a fase mineral do fertilizante dentro de uma matriz orgânica porosa, distribuída em “pellets” (Figura 13).

**Figura 13.** Biossólido peletizado produzido pela empresa Geociclo Biotecnologia S/A.



Fonte: Geociclo (2016)

O fertilizante a base de torta de filtro usado no experimento foi adquirido da empresa Geociclo Biotecnologia S/A (Uberlândia, MG) e encontrava-se peletizado. A partir do composto gerado pelo processo de compostagem, este recebe uma carga mineral de nutrientes solúveis (uréia, MAP e cloreto de potássio), quando os micronutrientes são adicionados. As fontes de B é a ulexita e os demais micronutrientes por meio de oxi-sulfatos. Em seguida recebe o polímero orgânico produzindo os ‘pellets’ organomineral (Figura 14). As características químicas do organomineral a base de torta de filtro seguiram as recomendações de adubação do plantio e da cobertura.

**Figura 14.** Esquema geral do processo de fabricação dos “pellets” organomineral à base de torta de filtro produzido pela Geociclo Biotecnologia S/A

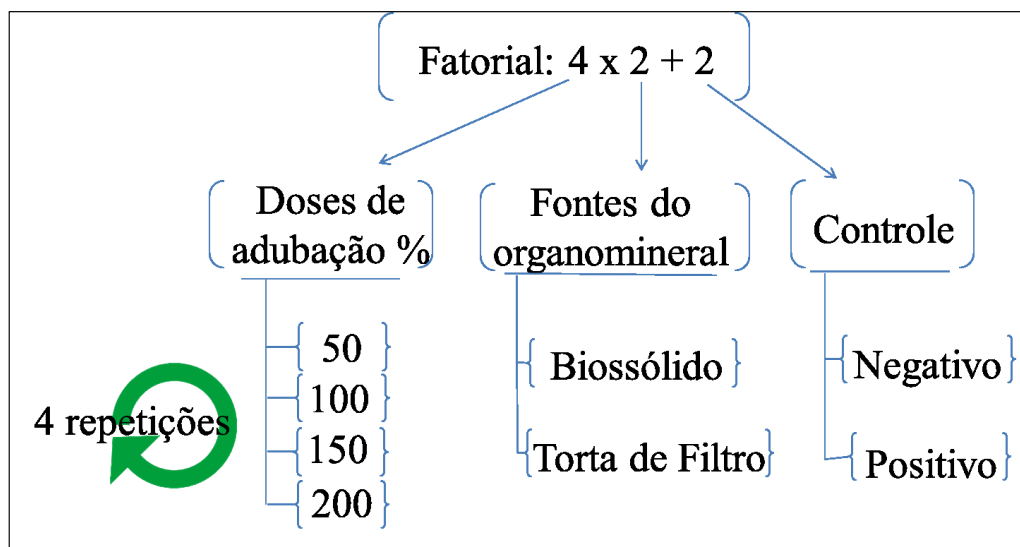


Fonte: Geociclo (2017).

#### 4.4 Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial  $4 \times 2 + 2$ , sendo quatro doses de fertilizante organomineral à base de biossólido e de torta de filtro, mais um controle positivo (adubação mineral) e outro negativo (sem adubação), com quatro repetições (Figura 15).

**Figura 15.** Representação do esquema fatorial do delineamento experimental.

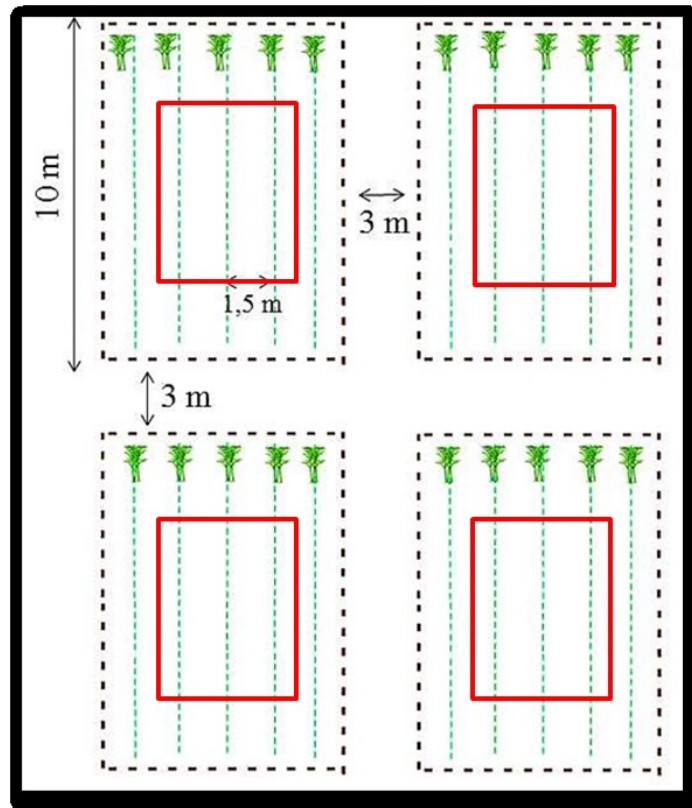


Fonte: elaborado pelo autor.

As parcelas experimentais mediam 10 m de comprimento por 6 m de largura, composta por cinco linhas de cana-de-açúcar em espaçamentos de 1,5 m, tendo uma área total de  $60 \text{ m}^2$  espaçadas por carregadores de 3 m entre as parcelas. A área útil para a análise foi composta pelas três linhas centrais de cada parcela desprezando as linhas das bordas (Figura 16).



**Figura 16.** Representação esquemática das parcelas experimentais do delineamento experimental. Retângulo em vermelho representa a área útil de cada parcela para as análises deste estudo.



Fonte: elaborado pelo autor.

O plantio foi mecanizado e realizado na última semana de maio de 2015 (Figura 17). Nos sulcos de plantio foram semeadas de 15 a 18 de gemas viáveis por metro através de mudas na profundidade de 30 a 40 cm e simultaneamente foi aplicado o fertilizante organomineral (Figura 18). Não houve irrigação no plantio nem após o primeiro corte da cana-de-açúcar.

O canavial foi avaliado durante dois ciclos consecutivos: cana-planta e 1ª cana-soca, passando pelas fases de brotamento (Figura 19), de perfilhamento e crescimento (Figura 20), de maturação (Figura 21) e de rebrota após o corte (Figura 22). A colheita foi mecanizada com 366 dias após o plantio e 376 dias após o 1º corte (Figura 23).

**Figura 17.** Plantio mecanizado do experimento do canavial.



Fonte: autor (2015)

**Figura 18.** Sulcos do plantio e adubação com fertilizante organomineral peletizado (no círculo em destaque).



Fonte: autor (2015)



**Figura 19.** Fase de brotamento e estabelecimento da cana-de-açúcar (120 dias após o plantio).



Fonte: autor (2015)

**Figura 20.** Fase inicial de perfilhamento da cana-de-açúcar (180 dias após o plantio).



Fonte: autor (2015)



**Figura 21.** Fase de maturação da cana-de-açúcar (300 dias após o plantio)



Fonte: autor (2016)

**Figura 22.** Fase de rebrota da cana-de-açúcar após a colheita mecanizada (cana-soca) (30 dias após o corte).



Fonte: autor (2016)



**Figura 23.** Colheita dos colmos de cana-de-açúcar para análise das variáveis químico-tecnológicas (366 dias após o plantio).



Fonte: autor (2016)

Neste delineamento foram alocados 10 tratamentos (Figura 24) combinados em função da recomendação de adubação para o local e do fertilizante, consistindo: 100% com adubação mineral (Controle Positivo – CP); sem adubação (Controle Negativo – CN); 50% (L1), 100% (L2), 150% (L3) e 200% (L4) com organomineral a base de biossólido e 50% (T1), 100% (T2), 150% (T3) e 200% (T4) com organomineral a base de torta de filtro (Tabela 4).

**Figura 24.** Representação esquemática do delineamento com os 10 tratamentos alocados na área experimental do canavial

|                              |                              |                              |                              |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| (T4)<br>200% Torta de filtro | (T4)<br>200% Torta de filtro | (L3)<br>150% Biossólido      | (L2)<br>100% Biossólido      |
| (L4)<br>200% Biossólido      | (CN)<br>Controle Negativo    | (T4)<br>200% Torta de filtro | (L3)<br>150% Biossólido      |
| (CN)<br>Controle Negativo    | (L4)<br>200% Biossólido      | (CP)<br>Controle Positivo    | (L1)<br>50% Biossólido       |
| (T3)<br>150% Torta de filtro | (CP)<br>Controle Positivo    | (T3)<br>150% Torta de filtro | (CP)<br>Controle Positivo    |
| (L1)<br>50% Biossólido       | (T1)<br>50% Torta de filtro  | (CN)<br>Controle Negativo    | (T1)<br>50% Torta de filtro  |
| (T1)<br>50% Torta de filtro  | (L3)<br>150% Biossólido      | (L4)<br>200% Biossólido      | (T2)<br>100% Torta de filtro |
| (T2)<br>100% Torta de filtro | (T3)<br>150% Torta de filtro | (T2)<br>100% Torta de filtro | (T4)<br>200% Torta de filtro |
| (L3)                         | (T2)                         | (L2)                         | (CN)                         |

|  |   |   |  |
|--|---|---|--|
| 150% Biossólido<br>(CP)<br>Controle Positivo | 100% Torta de filtro<br>(L2)<br>100% Biossólido | 100% Biossólido<br>(L1)<br>50% Biossólido | Controle Negativo<br>(L4)<br>200% Biossólido |
| (L2)<br>100% Biossólido                      | (L1)<br>50% Biossólido                          | (T1)<br>50% Torta de filtro               | (T3)<br>150% Torta de filtro                 |

Fonte: elaborado pelo autor.

**Tabela 4.** Tratamentos referentes ao experimento com cana-de-açúcar RB 92579.

| Tratamentos   | (kg ha <sup>-1</sup> ) | Código |
|---|------------------------|--------|
| 50% com fertilizante organomineral a base de biossólido       | 285                    | L1     |
| 100% com fertilizante organomineral a base de biossólido      | 570                    | L2     |
| 150% com fertilizante organomineral a base de biossólido      | 855                    | L3     |
| 200% com fertilizante organomineral a base de biossólido      | 1.140                  | L4     |
| 50% com fertilizante organomineral a base de torta de filtro  | 285                    | T1     |
| 100% com fertilizante organomineral a base de torta de filtro | 570                    | T2     |
| 150% com fertilizante organomineral a base de torta de filtro | 855                    | T3     |
| 200% com fertilizante organomineral a base de torta de filtro | 1.140                  | T4     |
| 100% com fertilizante mineral - Controle Positivo             | 570                    | CP     |
| Sem fertilizante – Controle Negativo                          | 0                      | CN     |

Fonte: elaborado pelo autor.

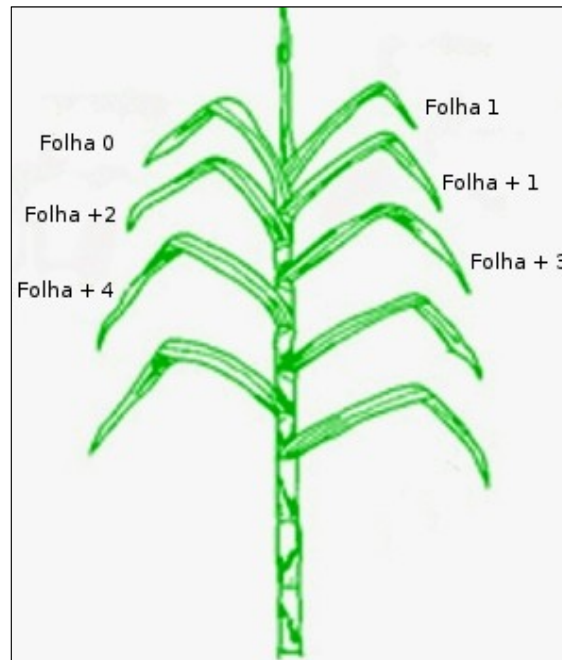
O controle de insetos pragas (formigas e cupins) foi realizado com a aplicação de 2,5 g ha<sup>-1</sup> de fipronil no sulco de plantio e para o controle de plantas daninhas utilizou-se os herbicidas hexazinona, diuron e MSMA, nas respectivas doses: 5,0; 3,2 e 3,0 L ha<sup>-1</sup>.

#### 4.5 Análise das trocas gasosas

Para análise das respostas fisiológicas da cana-de-açúcar em função das fontes de adubação organomineral, foram avaliadas a fotossíntese líquida (P<sub>N</sub>) e a condutância estomática (gs) através do analisador portátil de gás infravermelho IRGA (Infra Red Gas Analyser), modelo LI-6400XT (LI-COR). A intensidade luminosa foi controlada artificialmente mantendo-se em 2.500 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> durante as avaliações.

As trocas gasosas foram medidas no ciclo cana-planta (2015/2016) com 360 dias do plantio e no ciclo cana-soca (2016/2017) com 350 dias após o 1º corte. As medidas foram realizadas na terceira folha da cana-de-açúcar totalmente expandida e com lígula aparente denominada de folha TVD (*Top Visible Dewlap*) ou folha +1 (Kuijer) (Figura 25), no terço médio do limbo foliar no período do dia das 11 às 13 horas. Para cada unidade experimental, essas medidas foram realizadas em três indivíduos de cada uma das três linhas centrais.

**Figura 25.** Esquema de numeração de folhas para cana-de-açúcar pelo sistema de Kuijper.



Fonte: Dillewijn (1952) adaptado por Rosetto (EMBRAPA, 2018).

#### 4.6 Análise biométrica

A avaliação biométrica foi realizada nos dois ciclos de cultivo, cana-planta com 330 dias do plantio e na 1ª cana-soca, com 336 dias após o corte, de acordo com a metodologia proposta por Landell; Bressiani (2008).

O peso médio dos colmos é composto pelo diâmetro (d), altura (h) e densidade dos colmos (ds). Já a altura dos colmos (h), o diâmetro de colmos (d) e o número de colmos por metro linear (C) ou perfilhos são considerados como componentes determinantes para o potencial de produção agrícola (TCH). Considerando a densidade do colmo igual a 1, a produtividade expressa em Toneladas de Cana por Hectare (TCH) foi estimada pela expressão matemática (LANDELL; BRESSIANI, 2008):

$$TCH = d^2 \times C \times h \frac{(0,007854)}{E}$$

onde:

**d**= diâmetro de colmos (cm);

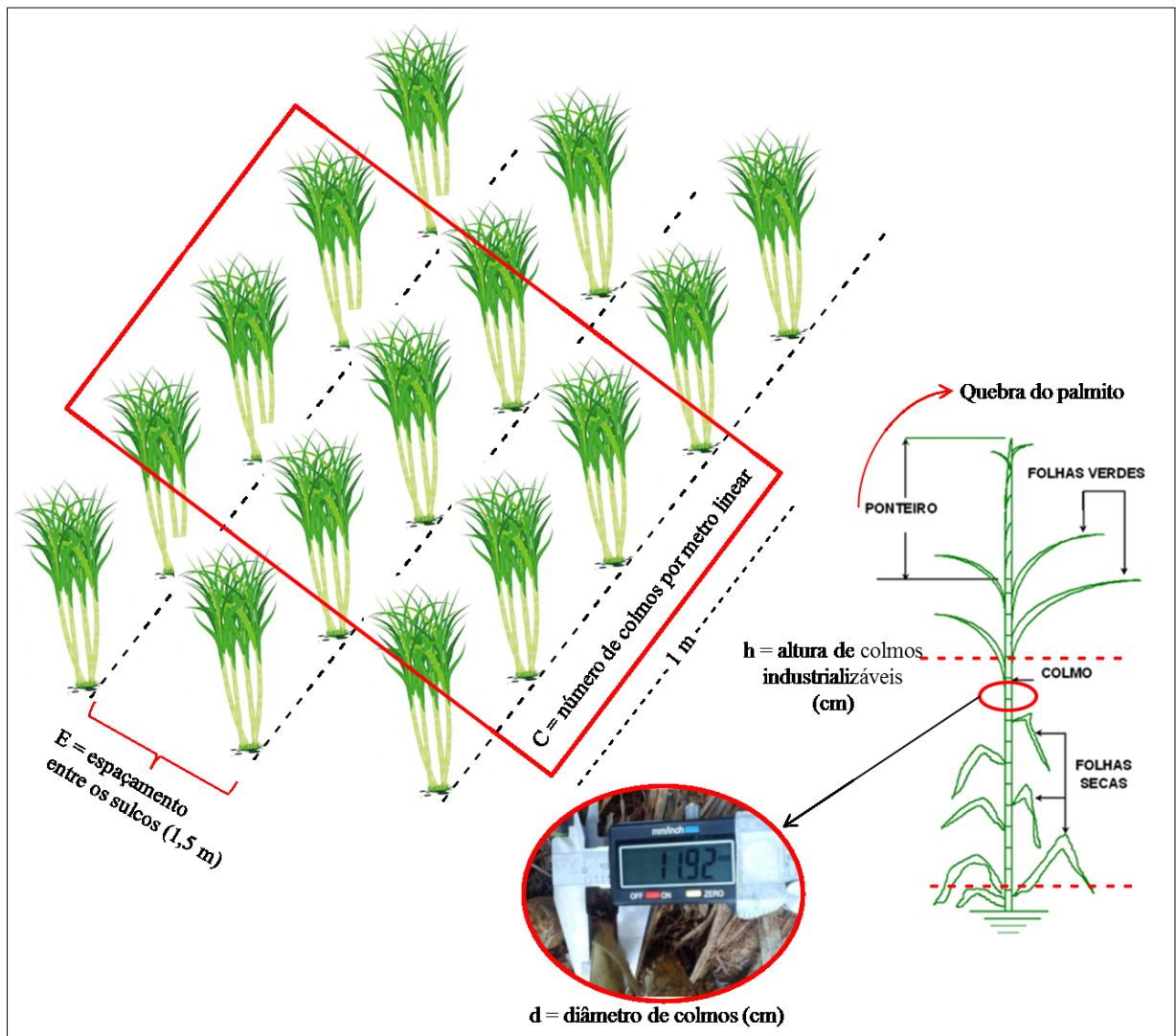
**C**=número de colmos por metro linear ou perfilhos por metro linear;

**h**= comprimento médio de colmos (cm);

**E**=espaçamento entre sulcos (m)

A estimativa do número de colmos por metro linear foi realizada pela contagem do número de colmos nas três linhas centrais de cada unidade experimental. Para a determinação do comprimento de colmos foram realizadas medidas das alturas de cinco colmos industrializáveis nas três linhas centrais da parcela, entre o ponto de corte e o ponto de quebra do palmito utilizando-se uma trena. Por meio de paquímetro digital foram medidos os diâmetros dos terços inferiores de cinco colmos industrializáveis nas três linhas centrais da parcela (Figura 26).

**Figura 26.** Representação esquemática da análise biométrica realizada no canavial.



Fonte: elaborado pelo autor.

#### 4.7 Análise das variáveis químico-tecnológicas

As análises tecnológicas foram realizadas através da coleta de dez colmos nas linhas centrais de cada parcela experimental do plantio, os quais foram despontados na altura da gema apical (ponto de quebra) (Figura 27) e levados ao Laboratório de análises tecnológicas da CMAA, Usina Vale do Tijuco, Uberaba, MG. As coletas foram medidas no ciclo cana-planta (2015/2016) com 366 dias do plantio e no ciclo cana-soca (2016/2017) com 376 dias após o 1º corte.

O processamento foi realizado segundo a metodologia do Sistema de Pagamento de Cana pelo Teor de Sacarose (PCTS). Após a desintegração e homogeneização dos colmos,



uma alíquota de 500 g foi submetida à prensa hidráulica, resultando no caldo extraído, que foi utilizado para as determinações químico-tecnológicas conforme CONSECANA (2006).

**Figura 27.** Coleta dos colmos para as análises variáveis químico-tecnológicas.



Fonte: autor (2016)

Considerou-se as variáveis do Brix (%) do caldo, Pol (%) cana (PCC), Pureza da Cana (%) (Pza), Fibra (%) da cana e Açúcar Total Recuperável (ATR). De acordo com Fernandes (2011) essas variáveis podem ser descritas como:

*Brix do caldo:* expressa a porcentagem peso/peso dos sólidos solúveis contidos numa solução pura de sacarose, ou seja, mede o teor de sacarose na solução. Admite-se ainda

o brix como a porcentagem aparente de sólidos solúveis contidos em solução açucarada impura, por exemplo, o caldo extraído da cana.

*Pol (%) cana:* é definida como a quantidade de sacarose, em porcentagem, presente no caldo da cana-de-açúcar.

*Pureza da Cana:* é determinada pela relação  $\text{Pol/Brix} \times 100$ . Quanto maior a pureza da cana, melhor a qualidade da matéria-prima para se recuperar açúcar.

*Fibra da cana:* representa a biomassa insolúvel em água presente na cana.

*ATR:* Açúcares totais recuperáveis expressos em açúcares redutores. Constitui uma das variáveis do sistema de pagamento de cana, e reflete o resultado da diferença entre ART (açúcares redutores totais) da cana e as perdas que eram de 12% e que segundo Termo de Revisão do Sistema Consecana (2006) reduziu a 9,5% na lavagem de cana, extração (perda de pol no bagaço final), torta dos filtros e as indeterminadas.

Calculou-se ainda o Total de Açúcar por Hectare (TAH) em cada tratamento experimental, baseado na variável tecnológica Pol % cana (PCC) e na produtividade da cana-de-açúcar.

#### 4.8 Análise estatística

Os resultados de cada análise foram comparados entre os tratamentos utilizando-se a análise de variância (ANOVA para um fator) e sempre que o teste F foi significativo às comparações múltiplas foram baseadas em análise de agrupamento univariada pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. A ANOVA para dois fatores foi realizada para verificar as interações entre os tratamentos e o ciclo de cana-de-açúcar relativa para as variáveis analisadas (ZAR, 1984).

Para avaliar o efeito das doses de fertilizante organomineral (biossólido e torta de filtro) na fotossíntese líquida e na condutância estomática utilizou modelos de regressão. O ajuste das equações de regressão foi escolhido com base na significância dos coeficientes de regressão a 5% de probabilidade pelo teste F e no maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

A comparação nas variáveis biométricas da cana-de-açúcar foi realizada pela análise de correlação de Pearson entre as variáveis dependentes, com o objetivo de avaliar quais variáveis estudadas influenciaram mais no cálculo do TCH estimado. As variáveis de produtividade (TAH) foram comparadas com as estimativas de fotossíntese líquida e condutância estomática também pela análise de correlação de Person.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa de software Systat<sup>®</sup> 10.2 (SYSTAT, 2002) e o Action Stat PRO<sup>®</sup> (ESTATCAMP, 2018).



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Trocas gasosas da cana-de-açúcar

No primeiro ano do plantio da cana-de-açúcar a fotossíntese líquida ( $P_N$ ) em função das doses e fontes de adubação apresentou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) (Tabela 5) do tratamento sem adubação (controle negativo, CN) em relação com todos os demais tratamentos (Figura 28).

**Tabela 5.** Análise de variância da fotossíntese líquida do ciclo cana-planta (2015/2016).

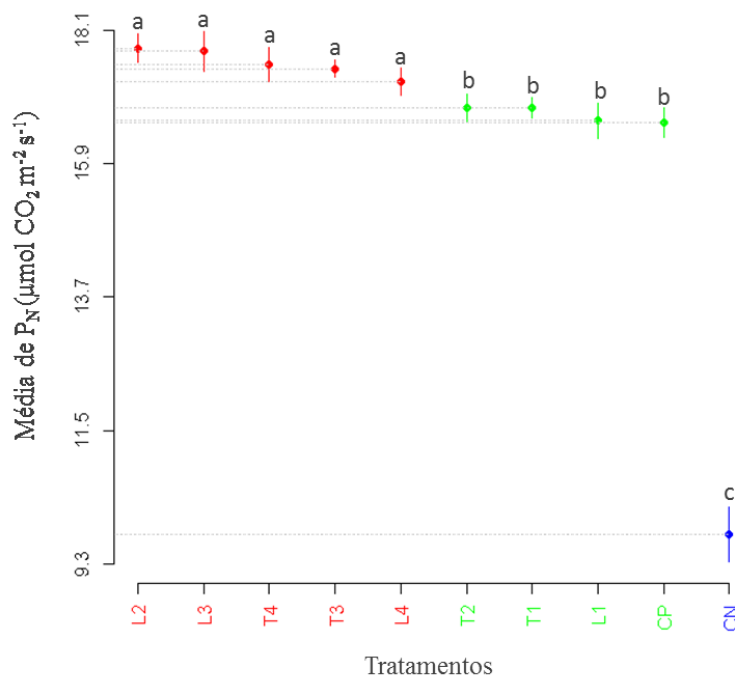
| Fontes de variação | GL | Soma de Quadrados | Quadrados Médios | F     | P     |
|--------------------|----|-------------------|------------------|-------|-------|
| Tratamentos        | 9  | 203,86            | 22,651           | 76,55 | <0,05 |
| Resíduo            | 30 | 8,87              | 0,295            |       |       |
| CV (%) = 3,3       |    |                   |                  |       |       |

Fonte: elaborado pelo autor.

Os tratamentos com fertilizantes a base de organominerais a bio sólido e torta de filtro e os fertilizantes minerais diferiram entre si, formando três agrupamentos distintos (Figura 28). A taxa fotossintética líquida da cana adubada com fertilizante organomineral com a dose de 100% a base de bio sólido (L2) apresentou valor de  $17,80 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , sendo a maior taxa dentre de todos os tratamentos no ciclo cana-planta (2015/2016). (Figura 28).

O tratamento com 100% a base de torta de filtro (T2) obteve uma taxa média de fotossíntese líquida igual a  $16,82 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , seguido pelo tratamento 50% a base de torta de filtro (T1) com  $16,81 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e 50% a base de bio sólido (L1),  $16,61 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , se equivalendo com o controle positivo com 100% de dose de adubação mineral (CP), igual a  $16,58 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Figura 28).

**Figura 28.** Fotossíntese líquida ( $P_N$ ) no ciclo cana-planta (2015/2016) em cultivar de cana-de-açúcar RB 92579 submetida à adubação com organomineral em diferentes doses/fontes: L1 – 50% a base de biossólido, L2 – 100% a base de biossólido, L3 – 150% a base de biossólido, L4 – 200% a base de biossólido, T1 – 50% a base de torta de filtro, T2 – 100% a base de torta de filtro, T3 – 150% a base de torta de filtro, T4 – 200% a base de torta de filtro, CN – controle negativo (sem fertilizante) e CP – controle positivo (100% com fertilizante mineral).



Médias seguidas de letras iguais no mesmo gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Fonte: elaborado pelo autor.

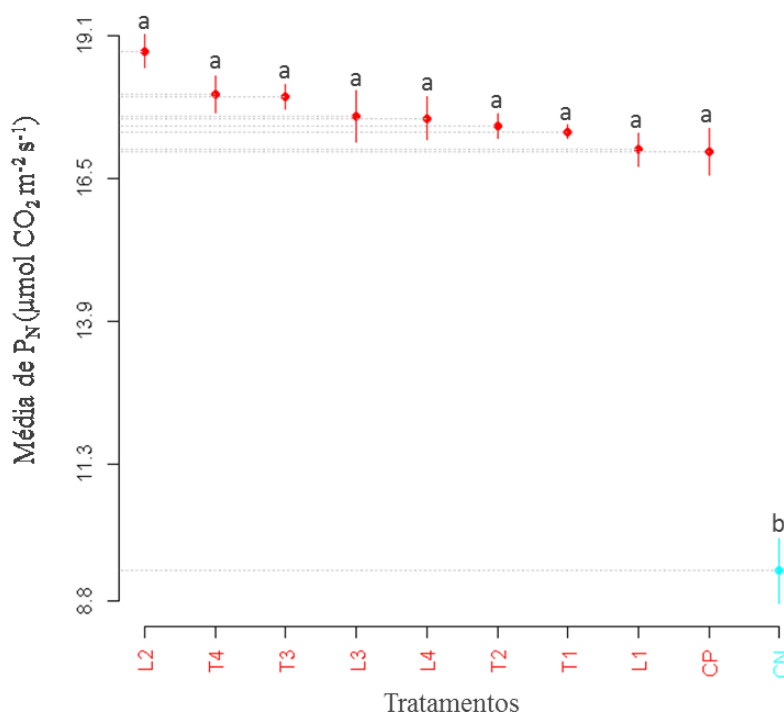
No segundo ano de cultivo (2016/2017), 1ª cana-soca, a fotossíntese líquida também apresentou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) (Tabela 6) entre o tratamento de controle negativo com os demais tratamentos. O tratamento com 100% com fertilizante organomineral a base de biossólido (L2) apresentou a maior taxa fotossintética líquida,  $18,83 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , entretanto, não diferiu significativamente ( $p < 0,05$ ) do tratamento com 100% de adubação mineral (CP),  $16,95 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e nem dos demais com fontes de fertilizantes a base de organomineral (Figura 29).

**Tabela 6.** Análise de variância da fotossíntese líquida do ciclo 1ª cana-soca (2016/2017).

| Fontes de variação | GL | Soma de Quadrados | Quadrados Médios | F     | P     |
|--------------------|----|-------------------|------------------|-------|-------|
| Tratamentos        | 9  | 259,36            | 28,818           | 54,99 | <0,05 |
| Resíduo            | 30 | 15,72             | 0,524            |       |       |
| CV (%) = 4,3%      |    |                   |                  |       |       |

Fonte: elaborado pelo autor.

**Figura 29.** Fotossíntese líquida ( $P_N$ ) no ciclo 1ª cana-soca (2016/2017) em cultivar de cana-de-açúcar RB 92579 submetida à adubação com organomineral em diferentes doses/fontes: L1 – 50% a base de biossólido, L2 – 100% a base de biossólido, L3 – 150% a base de biossólido, L4 – 200% a base de biossólido, T1 – 50% a base de torta de filtro, T2 – 100% a base de torta de filtro, T3 – 150% a base de torta de filtro, T4 – 200% a base de torta de filtro, CN – controle negativo (sem fertilizante) e CP – controle positivo (100% com fertilizante mineral).



Médias seguidas de letras iguais no mesmo gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Fonte: elaborado pelo autor.

A taxa fotossintética líquida da cana-de-açúcar de ambos os ciclos de cultivos demonstrou que adubação organomineral, seja a base de biossólido ou com a torta de filtro, apresentou vantagem sobre a adubação mineral no quesito de dose de fertilizante utilizada. Metade da dose de fertilizante organomineral foi suficiente para não diferir significativamente da taxa de  $P_N$  do tratamento com a dose de adubação mineral recomendada para cultivar RB 92579 naquelas condições edafoclimáticas. Esses resultados corroboram com os dados publicados por Marques et al. (2007) que demonstraram que a associação do lodo de esgoto com a adubação mineral em cana-de-açúcar permitiu a economia de metade da adubação mineral recomendada, mantendo-se a produtividade, as características de solo, em sua maioria, e suas características tecnológicas.

Os valores de fotossíntese líquida observados em ambos os ciclos de cultivo da cana-de-açúcar estão diretamente ligados à disponibilidade de matéria orgânica acrescentada no solo pelos fertilizantes organominerais utilizados, o biossólido e a torta de filtro. Segundo

Lopes (1998) e Taiz; Zeiger (2013) a matéria orgânica no solo proveniente da adubação orgânica durante anos consecutivos melhora as condições físicas e estrutura do solo com o aumento da infiltração de água, retendo água durante a seca e drenando em períodos chuvosos e conseqüentemente, diminuem as perdas por erosão (LOPES, 1998; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Portanto, a composição fertilizante organomineral a base de bio sólido e de torta de filtro contribuem para a retenção de umidade na rizosfera, diante da capacidade de aumento do potencial mátrico no ambiente do experimento. Esta é uma característica físico-química determinante para maior disponibilidade hídrica para a planta (LARCHER, 2004; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Segundo Heldt (2005) Buchanan; Gruissem; Jones. (2015) e Taiz; Zeiger (2013), a deficiência de água na planta é fator limitante para a fotossíntese, pois é a substância química essencial para a recomposição de elétrons da mangano-proteína do fotossistema II da etapa fotoquímica da fotossíntese. Portanto, a boa disponibilidade de água para a planta assegurará ATP e NADPH para o processo de sequestro de carbono e conseqüente ampliação da taxa fotossintética.

Estudo realizado por Gonçalves et al. (2010) demonstrou que o estresse hídrico em quatro variedades de cana-de-açúcar, inclusive a RB 92579, provocou redução significativa na taxa fotossintética líquida. E essa redução foi proporcional ao estresse hídrico submetido, sendo que em condições de estresse moderado as variedades apresentaram tendência em manter a  $P_N$  constante, enquanto sob o estresse severo as reduções foram mais drásticas. Dados semelhantes também foram obtidos por Ghannoum et al. (2003), demonstrando que a disponibilidade hídrica no solo é fator determinante para gramíneas com metabolismo C<sub>4</sub>, como a cana-de-açúcar.

Observa-se que os tratamentos a base de torta de filtro (T1, T2, T3 e T4) não apresentarem diferença significativa com o tratamento de 100% de dose a base de bio sólido, este apresenta maior valor na taxa fotossintética líquida, principalmente no ciclo 1ª cana-soca (Figura 29).

A composição orgânica do fertilizante organomineral à base de bio sólido pode estar disponibilizando maior quantidade de fósforo para a planta, uma vez que, os nutrientes solúveis estão envolvidos por uma matriz orgânica que protege o fósforo do contato direto com o solo evitando a perda por fixação. Em virtude da presença de maior quantidade de ânions orgânicos nos grânulos de fertilizantes organominerais, na qual competem pelos sítios de adsorção de P, ocorre redução momentânea da fixação desse nutriente, favorecendo a absorção pelas plantas (BENITES et al., 2010).

Partindo do pressuposto que haverá maior disponibilidade de fósforo para as plantas nutridas com fertilizante organomineral à base de biossólido e, seguindo as premissas metabólicas abordadas por Buchanan; Gruissem; Jones (2015), haverá então incremento das etapas fotoquímica e bioquímica da fotossíntese da cana-de-açúcar.

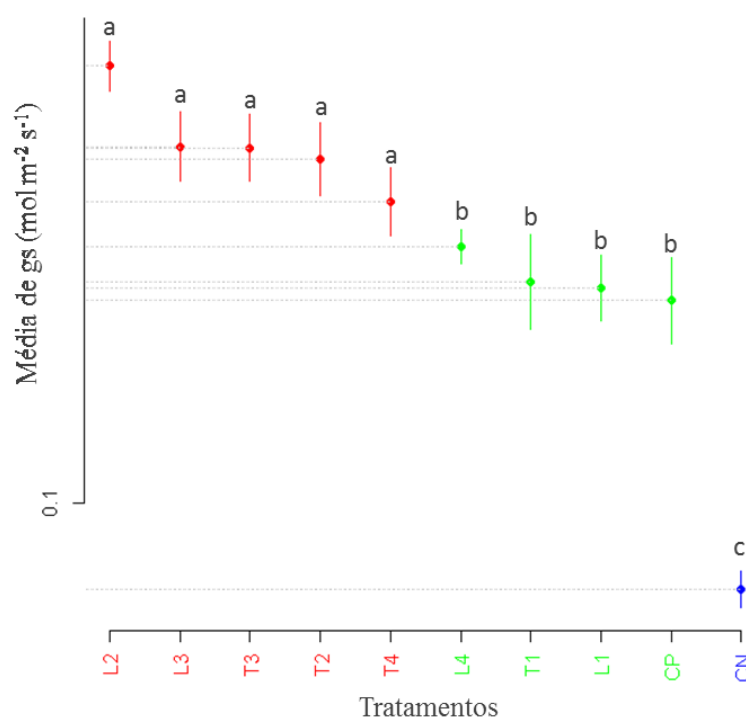
A condutância estomática (gs) da cana-de-açúcar no primeiro ano de plantio (2015/2016) apresentou diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 7). O tratamento com 100% de dose de biossólido (L2) apresentou valor médio de  $0,19 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e foi significativamente superior ( $p < 0,05$ ) aos tratamentos L4, L1, T1, CP e CN (Figura 30). A adubação mineral (CP) no primeiro ano do ciclo da cana apresentou um valor médio de condutância estomática igual a  $0,14 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , não diferindo ao observado nos tratamentos com a metade da dose de organomineral, tanto no biossólido (L1) quanto na torta de filtro (T1) (Figura 30).

**Tabela 7.** Análise de variância da condutância estomática do ciclo cana-planta (2015/2016).

| Fontes de variação | GL | Soma de Quadrados | Quadrados Médios | F     | P     |
|--------------------|----|-------------------|------------------|-------|-------|
| Tratamentos        | 9  | 0,029             | 0,003            | 16,41 | <0,05 |
| Resíduo            | 30 | 0,006             | 0,00             |       |       |
| CV (%) = 0         |    |                   |                  |       |       |

Fonte: elaborado pelo autor.

**Figura 30.** Condutância estomática (gs) no ciclo cana-planta (2015/2016) em cultivar de cana-de-açúcar RB 92579 submetida à adubação com organomineral em diferentes doses/fontes: L1 – 50% a base de biossólido, L2 – 100% a base de biossólido, L3 – 150% a base de biossólido, L4 – 200% a base de biossólido, T1 – 50% a base de torta de filtro, T2 – 100% a base de torta de filtro, T3 – 150% a base de torta de filtro, T4 – 200% a base de torta de filtro, CN – controle negativo (sem fertilizante) e CP – controle positivo (100% com fertilizante mineral).



Médias seguidas de letras iguais no mesmo gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Fonte: elaborado pelo autor.

No ciclo de 1ª cana-soca (2016/2017) a condutância estomática (gs) apresentou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos (Tabela 8), onde o controle negativo (CN) sem adubação foi menor,  $0,08 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , do que todos os demais. A adubação com fertilizante organomineral com 100% de dose a base de biossólido apresentou a maior condutância, com  $0,20 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , diferindo significativamente da adubação mineral e dos outros com adubação organomineral dos tratamentos L3, L4, L1 e T1 (Figura 31).

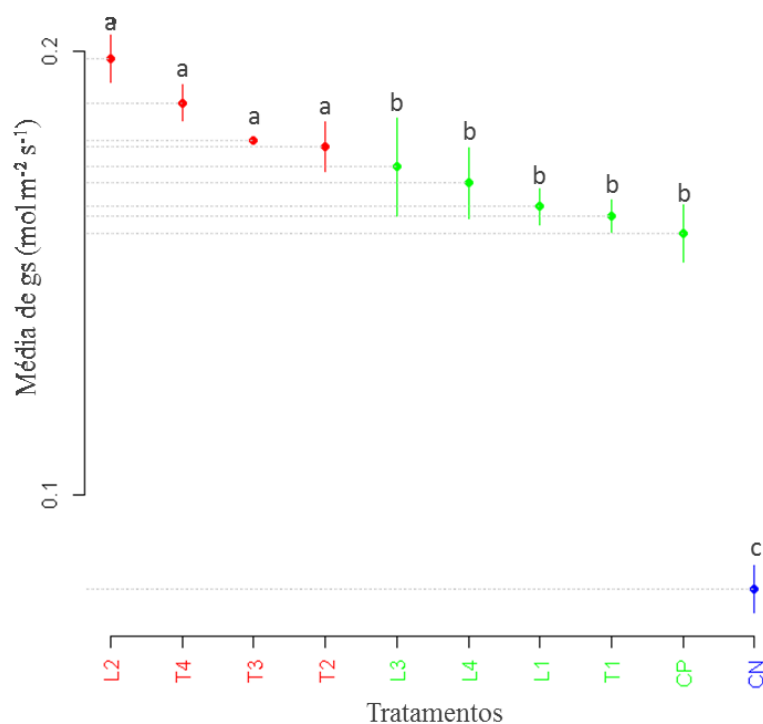
**Tabela 8.** Análise de variância da condutância estomática do ciclo 1ª cana-soca (2016/2017).

| Fontes de variação | GL | Soma de Quadrados | Quadrados Médios | F     | P     |
|--------------------|----|-------------------|------------------|-------|-------|
| Tratamentos        | 9  | 0,038             | 0,004            | 28,47 | <0,05 |
| Resíduo            | 30 | 0,004             | 0,00             |       |       |
| CV (%) = 0         |    |                   |                  |       |       |

Fonte: elaborado pelo autor.

Em ambos os ciclos da cana-de-açúcar a condutância estomática foi maior no tratamento L2, provavelmente pelo fato dessa dose de organomineral à base de biossólido estar proporcionando melhor potencial mátrico no solo e nutrientes, como o potássio. Esses fatores são essenciais no processo de abertura e fechamento dos estômatos (condutância estomática) os quais influenciam na produtividade vegetal (LARCHER, 2004).

**Figura 31.** Condutância estomática (gs) no ciclo 1ª cana-soca (2016/2017) em cultivar de cana-de-açúcar RB 92579 submetida à adubação com organomineral em diferentes doses/fontes: L1 – 50% a base de biossólido, L2 – 100% a base de biossólido, L3 – 150% a base de biossólido, L4 – 200% a base de biossólido, T1 – 50% a base de torta de filtro, T2 – 100% a base de torta de filtro, T3 – 150% a base de torta de filtro, T4 – 200% a base de torta de filtro, CN – controle negativo (sem fertilizante) e CP – controle positivo (100% com fertilizante mineral).



Médias seguidas de letras iguais no mesmo gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Fonte: elaborado pelo autor.

A condutância estomática está diretamente ligada ao potencial de água da folha, que indica o seu estado energético, cujos gradientes explicam os fluxos da água no sistema solo-planta-atmosfera, de modo que, variações no potencial hídrico da folha podem afetar a assimilação do carbono da planta (BERGONCI et al., 2000). Isto porque, se a planta perde água a uma taxa superior à sua capacidade de absorção e transporte, o potencial hídrico da

folha diminui, levando ao fechamento dos estômatos e redução da fotossíntese (BUCHANAN; GRUISSEM; JONES, 2015).

A abertura e fechamento de estômatos cana-de-açúcar também são influenciados pela disponibilidade do potássio no solo. A abertura dos estômatos depende da atividade de uma bomba de prótons e da condutância de canais proteicos localizados na membrana das células guarda no mesófilo foliar. Assim, na ausência de restrição hídrica, com a alta umidade do ar e com o aumento da temperatura dentro de uma faixa moderada (23–28 °C) levam a um aumento da condutância do mesófilo, da atividade da Rubisco e do transporte de elétrons e como resultado aumenta a condutância dos estômatos via efeito de retroalimentação da concentração de CO<sub>2</sub> intercelular na abertura dos estômatos (TAIZ; ZEIGER, 2013).

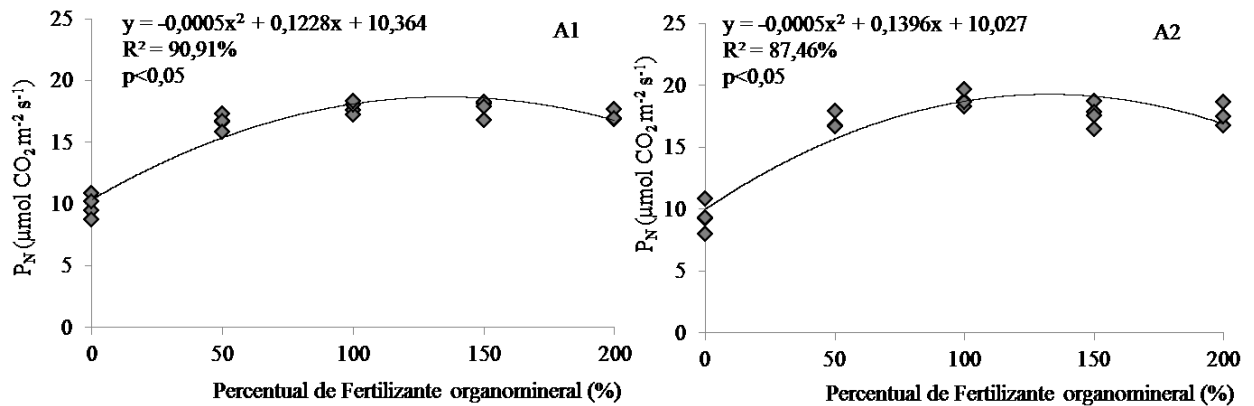
A condutância estomática nos dois ciclos de cultivo da cana-de-açúcar apresentaram os maiores valores nos tratamentos equivalentes as maiores taxas fotossintéticas. Esses dados corroboram com as afirmações dos autores Lima; Jarvis; Rhizopoulou (2003), os quais dizem que existe correlação direta entre a condutância estomática e a fotossíntese líquida, sendo que a taxa de fotossíntese aumenta de forma linear ou curvilínea à medida que ocorre a abertura dos estômatos.

A adição de doses crescentes de fertilizante organomineral a base de biofósforo no cultivo da cana-de-açúcar promoveram respostas positivas sobre a taxa de fotossíntese líquida em ambos os ciclos de cultivo, cana-planta e 1ª cana-soca (Figura 32). Os modelos de regressão apresentaram equações polinomiais quadráticas com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) maiores que 87% com  $p < 0,05$ . A taxa de fotossíntese líquida avaliada na cana-de-açúcar apresentou um aumento proporcional com o aumento das doses de biofósforo. No ciclo cana-planta o biofósforo apresentou o ponto máximo da função com a dosagem de 122,8% e taxa fotossintética líquida de 17,8  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e em cana-soca com a dosagem 139,6% e  $P_N$  de 19,7  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Figura 32).

Os modelos de regressão das doses crescentes de torta de filtro no cultivo da cana-de-açúcar com a taxa fotossintética líquida apresentaram equações polinomiais quadráticas com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) em torno de 85% com  $p < 0,05$  e tiveram relação positiva em ambos os ciclos de cultivo, cana-planta e 1ª cana-soca. No ciclo cana-planta a torta de filtro apresentou o ponto máximo da função com a dosagem de 135,8% e  $P_N$  de 17,86  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e em cana-soca com a dosagem 155,7% e  $P_N$  de 19,91  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Figura 33).

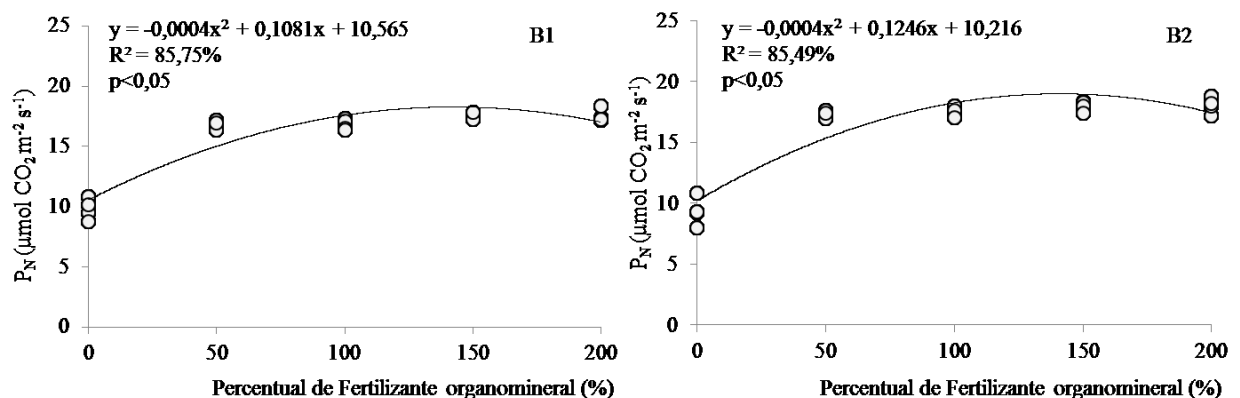


**Figura 32.** Modelos de regressão significativos a 0,05 para fotossíntese líquida ( $P_N$ ) para cultivar de cana-de-açúcar RB92579 em função do percentual de doses de adubação organomineral a base de biossólido (A1 – ciclo cana-planta e A2 - ciclo 1ª cana-soca)



Fonte: elaborado pelo autor.

**Figura 33.** Modelos de regressão significativos a 0,05 para fotossíntese líquida ( $P_N$ ) para cultivar de cana-de-açúcar RB92579 em função do percentual de doses de adubação organomineral a base de torta de filtro (B1 – ciclo cana-planta e B2- ciclo 1ª cana-soca)



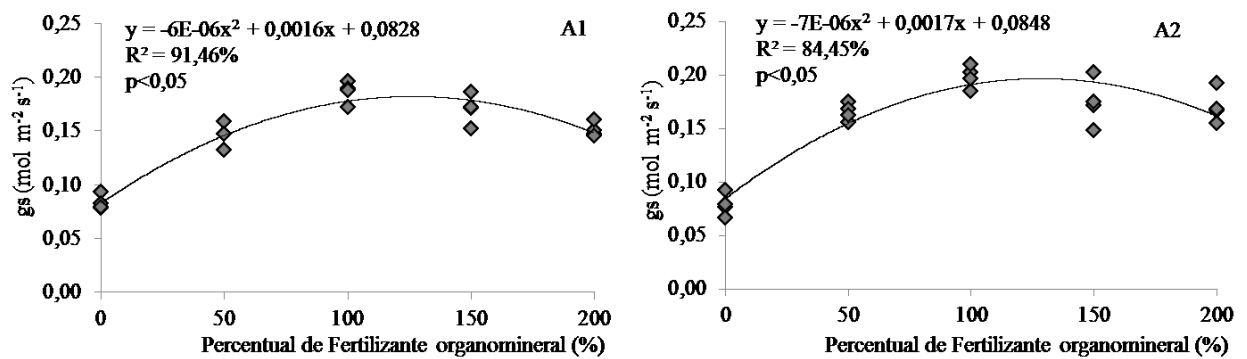
Fonte: elaborado pelo autor.

A resposta fotossintética da cultura da cana a doses crescente de fertilizante organomineral a base de biossólido e torta de filtro está provavelmente relacionado ao fato deles possuírem NPK e matéria orgânica bioestabilizada no mesmo pellet. Dessa forma, os organominerais fornecem continuamente os nutrientes à cultura ao longo de todo o ciclo da cana proporcionando o efeito “slow release” e reduz as perdas de nutrientes por lixiviação e percolação no perfil do solo (TEIXEIRA; SOUSA; KORNDÖRFER, 2014; SOUSA, 2014).

Observou-se um aumento na condutância estomática (gs) com o aumento das doses de organomineral, biossólido (Figura 34) e torta de filtro (Figura 35). Os modelos de

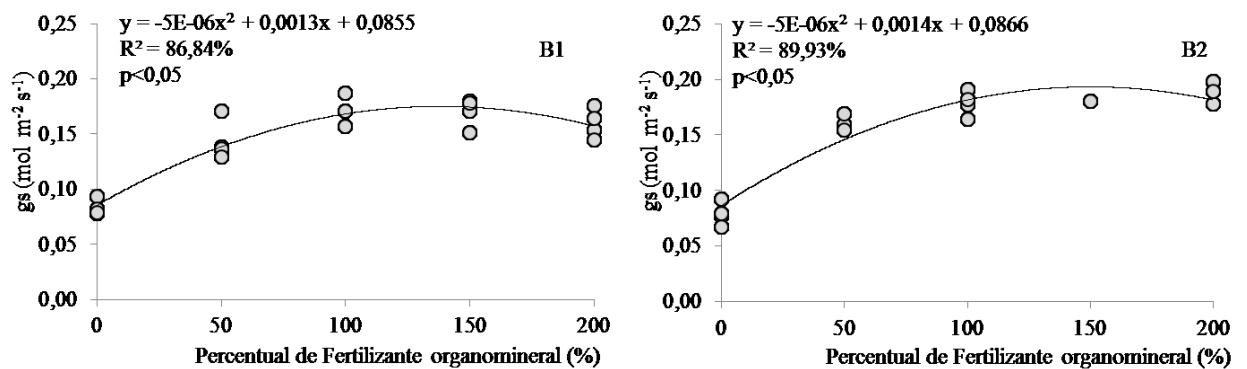
regressão das doses crescentes dos organominerais apresentaram equações polinomiais quadráticas com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) acima de 80% com  $p < 0,05$  e tiveram relação positiva em ambos os ciclos de cultivo. No ciclo cana-planta o biossólido apresentou o ponto máximo da função com a dosagem de 133,34% e uma condutância estomática de  $0,189 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e em cana-soca com a dosagem 121,4% e gs de  $0,187 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Figura 34). A torta de filtro no ciclo cana-planta apresentou o ponto máximo da função com a dosagem de 130% e gs de  $0,17 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e em cana-soca a dosagem 140% e gs de  $0,184 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Figura 35).

**Figura 34.** Modelos de regressão significativos a 0,05 para condutância estomática (gs) para cultivar de cana-de-açúcar RB92579 em função do percentual de doses de adubação organomineral a base de biossólido (A1 – ciclo cana-planta e A2 - ciclo 1ª cana-soca).



Fonte: elaborado pelo autor.

**Figura 35.** Modelos de regressão significativos a 0,05 para condutância estomática (gs) para cultivar de cana-de-açúcar RB92579 em função do percentual de doses de adubação organomineral a base de torta de filtro (B1 – ciclo cana-planta e B2 - ciclo 1ª cana-soca).



Fonte: elaborado pelo autor.

A resposta positiva da condutância estomática da cana-de-açúcar com a adubação organomineral reforça as vantagens desse tipo de fertilizante estar dentro de uma matriz orgânica porosa o que previne a lixiviação do nitrogênio e potássio. Impede também o contato direto do fósforo com os óxidos presentes no solo, prevenindo a perda de fósforo por fixação. A matriz orgânica dos fertilizantes organominerais, quando em contato com o solo, é atacada por micro-organismos edáficos que promovem a sua mineralização (SOUSA, 2014).

As doses de biossólido e de torta de filtro a partir de cada ponto máximo da função quadrática do modelo de regressão apresentam uma redução na taxa fotossintética líquida e na condutância estomática, nos dois ciclos de cultivo da cana-de-açúcar, demonstrando um efeito acumulativo do fertilizante.

Este efeito de acúmulo de nutrientes em altas doses de adubação, provavelmente está afetando a capacidade de absorção de alguns cátions de suma importância para a fotossíntese, tais como o ferro, o manganês e o potássio. Epstein; Bloom (2006) e Taiz; Zeiger (2013) elucidam sobre a saturação de cátions na rizosfera de plantas e que, nestas condições afetam o funcionamento dos portões de cátions nas células das raízes. E ainda, as altas doses de adubação organomineral podem estar contribuindo para a insensibilização da biossíntese de ácido giberélico. Neste sentido, concentração suprimida de ácido giberélico biossintetizado em raízes, acarretará em menor difusão de potássio que, conforme Epstein; Bloom (2006) poderá provocar menor influxo de outros cátions essenciais para os processos fotossintéticos e também para a condutância estomática em plantas submetidas a estes ambientes.

Em estudo realizado por Silva et al. (2002), sobre o efeito residual de biossólido em milho, com tratamentos com doses de lodo de esgoto com e sem calcário e tratamentos com adubação química, verificaram que a maior dose utilizada ( $54 \text{ t ha}^{-1}$ ) teve efeito residual até o terceiro ano após a aplicação do lodo, com produtividade média de  $4.700 \text{ kg ha}^{-1}$  de grãos de milho.

Dados semelhantes foram constatados por Barbosa et al. (2007) em seu estudo sobre o efeito residual do biossólido no milho safrinha, os autores verificaram que a maior dose de  $36 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo de esgoto causou resultado superior de produtividade em relação às doses de 6 e  $12 \text{ t ha}^{-1}$ . Segundo os autores esses resultados parecem indicar que o lodo de esgoto pode manter a produtividade do milho safrinha em níveis satisfatórios após uma safra normal sem a contribuição de outro insumo, evidenciando seu efeito residual.

As ANOVAs para dois fatores, fontes e doses de fertilizantes (tratamentos) e o ciclo da cana-de-açúcar (período cana-planta e 1ª cana-soca) relativa à fotossíntese líquida e a condutância estomática (Tabela 9) indicam diferenças significativas. Entretanto, nenhuma

variável apresentou interação significativa entre os períodos do ciclo da cana-de-açúcar e as fontes e doses de adubação.

**Tabela 9.** Análise de Variância - ANOVA para dois fatores: fontes e doses de fertilizantes (tratamentos) e ciclo da cana-de-açúcar (período) relativa à fotossíntese líquida e a condutância estomática.

| ANOVA                  |    |        |        |
|------------------------|----|--------|--------|
| Fonte                  | GL | F      | P      |
| Fotossíntese líquida   |    |        |        |
| Tratamentos            | 9  | 124,66 | <0,001 |
| Ciclo                  | 1  | 7,18   | 0,009  |
| Ciclo x tratamentos    | 9  | 0,80   | 0,613  |
| Condutância estomática |    |        |        |
| Tratamentos            | 9  | 45,70  | <0,001 |
| Ciclo                  | 1  | 25,02  | <0,001 |
| Ciclo x tratamentos    | 9  | 1,18   | 0,319  |

Fonte: elaborado pelo autor.

Os gráficos de interação entre os tratamentos e o ciclo da cana-de-açúcar demonstram que a fotossíntese líquida e a condutância estomática tiveram um aumento significativo em seus valores do ciclo cana-planta para a 1ª cana-soca, com exceção do controle negativo (sem adubação) (Figura 36 e 37).

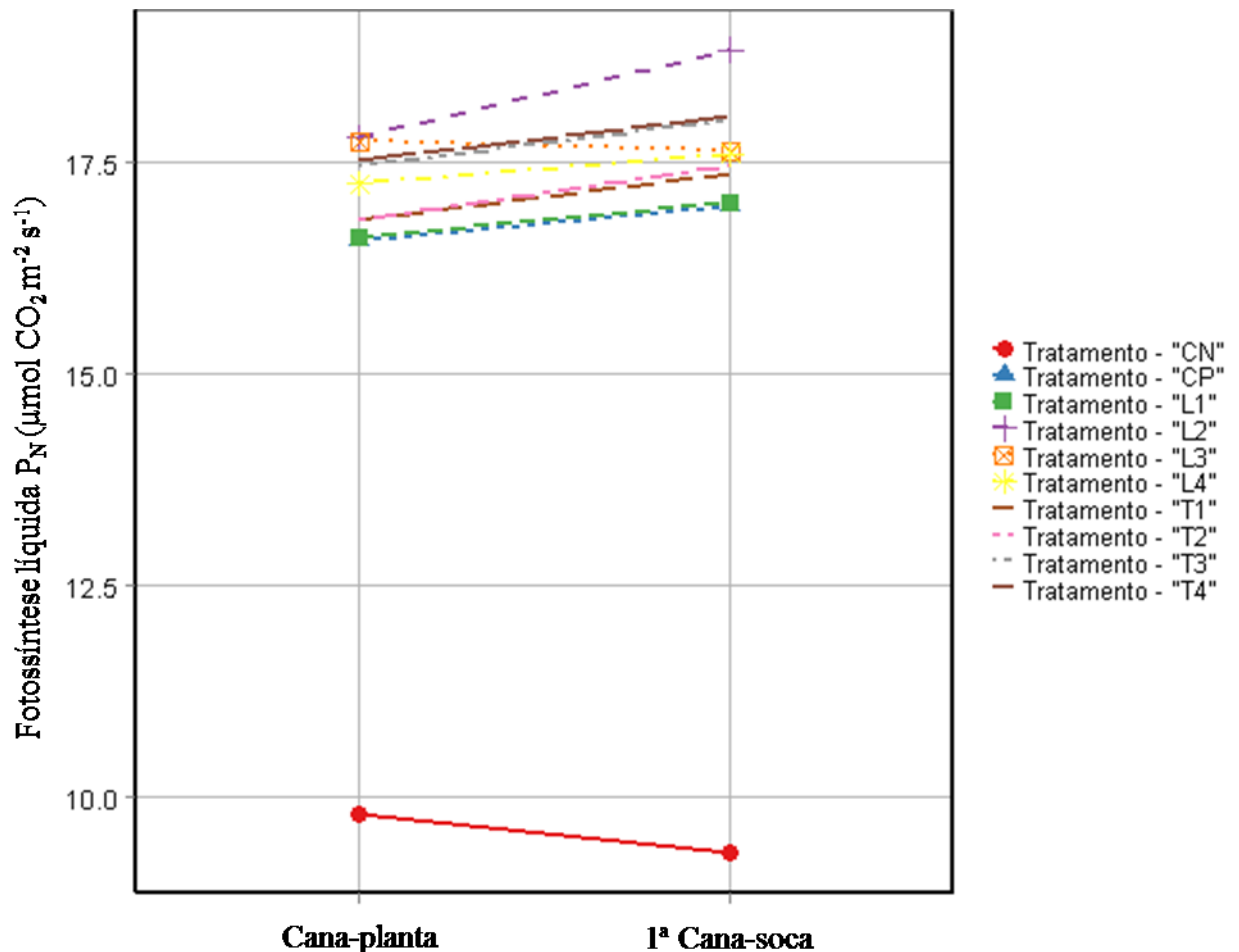
Esse aumento reforça a hipótese dos fertilizantes organominerais estarem beneficiando a conservação da umidade no solo e a sua estrutura física, disponibilizando ao longo do tempo maior potencial hídrico e mais nutriente para a cana-de-açúcar (LOPES, 1998; TEIXEIRA; SOUSA; KORNDÖRFER, 2014).

O aumento das trocas gasosas no ciclo do segundo ano de cultivo da cana-de-açúcar também pode estar relacionado com o aumento dos índices de precipitação durante o período de junho de 2016 a maio de 2017, correspondente a 1ª cana-soca. Simões et al. (2015) evidencia em seu estudo sobre a influência do sistema de irrigação nas trocas gasosas da cana-de-açúcar, variedade RB 92579, que para os três ciclos (cana-planta, 1ª cana-soca e 2ª cana-soca) a condutância estomática e a fotossíntese líquida foram significativamente inferiores para as plantas submetidas a gotejamento superficial. Esses resultados demonstram que a

restrição hídrica afeta diretamente no processo de fluxo difusivo do  $\text{CO}_2$ , reduzindo a fotossíntese líquida.

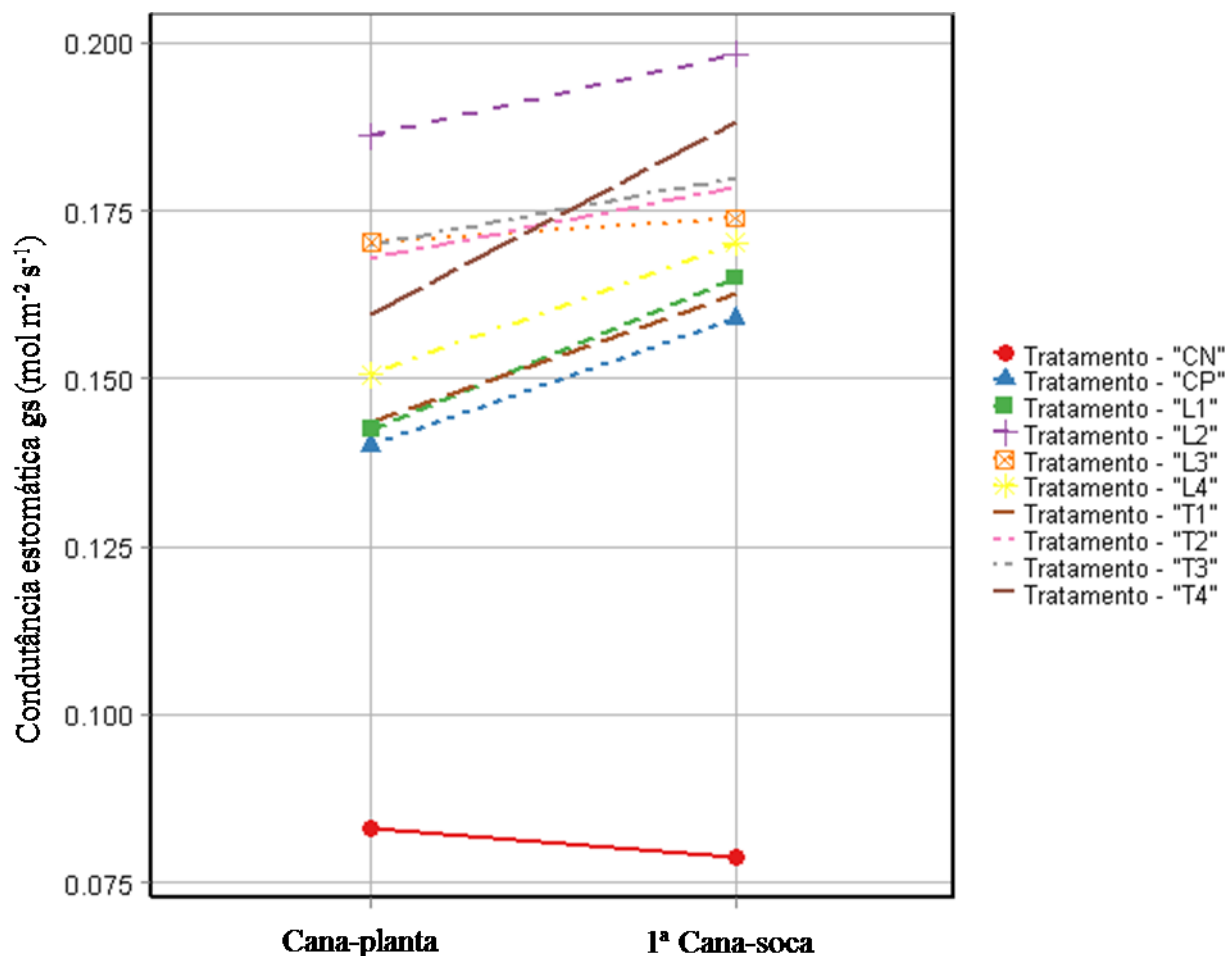
Dados semelhantes encontrados por Oliveira et al. (2017) confirmam que a disponibilidade hídrica associada a uma adubação nitrogenada favorece maiores taxas fotossintéticas. Os autores verificaram que a manutenção sub-ótima da pressão de turgescência pelo potencial hídrico reduziu a área fotossinteticamente ativa da cana-de-açúcar submetida a déficit hídrico. E ainda, a reposição de água de 75% associada à adubação com nitrogênio promoveu a manutenção ótima do processo fotossintético.

**Figura 36.** Gráfico de interação da fotossíntese líquida ( $P_N$ ) entre os ciclos da cana e as fontes/doses de adubação (tratamentos).



Fonte: elaborado pelo autor.

**Figura 37.** Gráfico de interação da Condutância estomática (gs) entre os ciclos da cana e as fontes/doses de adubação (tratamentos).



Fonte: elaborado pelo autor.

## 5.2 Variáveis biométricas da cana-de-açúcar

Dentre as variáveis biométricas avaliadas, o diâmetro e a altura do colmo não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos no ciclo cana-planta (Tabela 10). Entretanto, destaca-se que os maiores diâmetros foram observados nos tratamentos que receberam o fertilizante organomineral a base de biossólido, L2 com 3,38 cm e L4 com 3,20 cm. Na altura da cana-de-açúcar, as maiores médias foram observadas em L3 com 188,30 cm e em L2 com 187,38 cm.

Esses dados corroboram com Moraes (2017), o qual verificou que o diâmetro de colmo da cana-de-açúcar fertilizado com adubação organomineral a base de biossólido não diferiu significativamente quando comparado a fertilização mineral. Entretanto, para a altura

da cana-de-açúcar o fertilizante organomineral com percentual de adubação de 60% e 120% aos 60 dias após o plantio promoveu maior altura que a adubação mineral a 100%.

**Tabela 10.** Média das variáveis biométricas para cultivar de cana-de-açúcar RB 92579 submetida à adubação com fertilizantes organominerais em diferentes doses e fontes de matéria orgânica, com 10 meses de idade, ciclo cana-planta (2015/2016).

| Tratamentos                              | Diâmetro do colmo (cm) | Altura do colmo (cm) | Número de colmos (perfilhos m <sup>-1</sup> ) | TCH estimado (t ha <sup>-1</sup> ) |
|--|------------------------|----------------------|---|------------------------------------|
| Controle Negativo (sem fertilizante)     | 2,77                   | 165,66               | 10,18 b                                       | 72,65 b                            |
| Controle Positivo (fertilizante mineral) | 2,78                   | 170,28               | 10,36 b                                       | 74,10 b                            |
| L1 – dose 50% a base de biossólido       | 2,80                   | 174,15               | 10,48 b                                       | 76,28 b                            |
| L2– dose 100% a base de biossólido       | 3,38                   | 187,38               | 11,66 a                                       | 142,45 b                           |
| L3– dose 150% a base de biossólido       | 2,83                   | 188,30               | 10,93 b                                       | 87,20 b                            |
| L4– dose 200% a base de biossólido       | 3,20                   | 183,27               | 11,11 a                                       | 116,77 a                           |
| T1– dose 50% a base de torta de filtro   | 2,81                   | 175,25               | 10,68 b                                       | 79,14 b                            |
| T2– dose 100% a base de torta de filtro  | 2,84                   | 182,14               | 11,08 a                                       | 83,65 b                            |
| T3– dose 150% a base de torta de filtro  | 2,83                   | 174,38               | 10,93 a                                       | 81,65 b                            |
| T4– dose 200% a base de torta de filtro  | 2,82                   | 174,31               | 10,68 b                                       | 78,24 b                            |
| Teste F                                  | 1,66 <sup>ns</sup>     | 1,36 <sup>ns</sup>   | 2,65*   | 1,89*                              |
| CV (%)                                   | 10,99                  | 7,11                 | 4,97  | 36,74                              |

Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna, para cada atributo, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott. \*Significativo ao nível de 5% de probabilidade. ns = não significativo a 5%.

Fonte: elaborado pelo autor.

Em contrapartida Nobile et al. (2011) em estudo com uso do composto de lixo e biofertilizante como fonte de nutrientes, e o resíduo do processamento da bauxita como corretivo da acidez do solo, para a cultura da cana-de-açúcar observou diferença significativa entre os tratamentos com resíduos orgânicos e a adubação mineral, a qual apresentou maior diâmetro dos colmos.

Costa (2012) ao analisar a variável diâmetro do colmo em cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de reposição hídrica observou que o diâmetro do colmo não apresentou aumento com a aplicação de uma lâmina de água superior a 75% da ETc (Evapotranspiração da cultura). Portanto, o diâmetro do colmo pode estar relacionado não apenas com fatores ambientais, mas ainda, com as características de cada cultivar.

Para o número de perfilhos, em cana-planta, houve diferença significativa entre os tratamentos formando dois grupos distintos, sendo um deles composto por L2, L4, T2 e T3 com os maiores valores (Tabela 10). Observa-se que o número de perfilhos da adubação

mineral, 10,36 perfilhos por metro, não difere da adubação com fertilizante organomineral com uso de apenas 50% da dose recomendada, L1 com 10,48 perfilhos por metro e T1 com 10,68 perfilhos por metro.

Aquino; Medina (2014) avaliando o efeito da palhada nas variáveis biométricas da cana-de-açúcar, também observaram que a palhada apresentou efeito significativo sobre o número de perfilhos por hectare, demonstrando que a presença de matéria orgânica no solo interfere positivamente no aumento do perfilhamento da cana-de-açúcar.

A adubação com fertilizante organomineral apresentou efeito significativo na estimativa de Tonelada de Cana por Hectare (TCH) no primeiro ano do ciclo cana-planta (Tabela 10). Os melhores resultados de produtividade de cana (TCH estimado) foram os tratamentos com fertilizante organomineral a base de biossólido na dose de 100% (L2) com 142,45 t ha<sup>-1</sup> seguido pela dose de 200% (L4) com 116,77 t ha<sup>-1</sup>, os quais foram significativamente diferentes dos demais tratamentos.

De acordo com os valores de correlação apresentados entre o TCH e as demais variáveis biométricas avaliadas, todas apresentaram correlações positivas e significativas no ciclo cana-planta (Tabela 11). Esses dados indicam que todas as variáveis influenciam no cálculo de TCH estimado. Diferente dos resultados observados, Oliveira et al. (2014) encontrou correlação apenas entre o TCH com a altura e o diâmetro das cultivares de cana-de-açúcar analisadas.

**Tabela 11.** Coeficiente de correlação de Pearson entre os valores médios de TCH estimado e das variáveis biométricas para cultivar de cana-de-açúcar RB 92579, com 10 meses de idade, ciclo cana-planta (2015/2016).

|     | Perfilhos | Altura  | Diâmetro |
|-----|-----------|---------|----------|
| TCH | 0,494**   | 0,549** | 0,978**  |

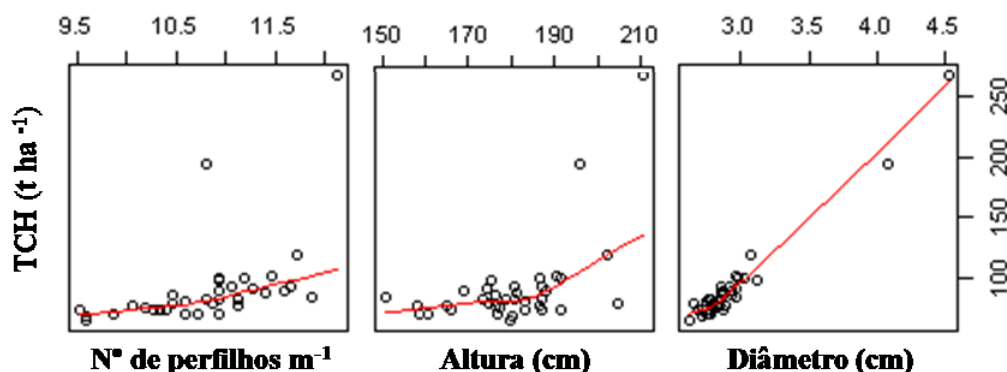
\*\*Significativo ao nível de 1 % de probabilidade

Fonte: elaborado pelo autor.

A variável do diâmetro da cana-de-açúcar, no ciclo cana-planta, apresentou o maior valor de correlação de Pearson ( $r=0,978$ ) com o TCH (Tabela 11) podendo ser observado na figura 38 de matriz de correlação.



**Figura 38.** Matriz de correlação do ciclo cana-planta (2015/2016) entre os valores médios de TCH estimado e das variáveis biométricas da cana-de-açúcar, com 10 meses de idade.



Fonte: elaborado pelo autor.

No segundo ano de cultivo, ciclo 1ª cana-soca, a variável do diâmetro do colmo e o TCH estimado apresentaram diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 12). Os tratamentos com fertilizante organomineral não diferiam entre si e nem com a adubação mineral apenas com controle negativo (sem fertilizante). Entretanto, vale ressaltar que os maiores valores de diâmetro foram observados nos tratamento com o uso do biossólido em L2, L3 e L4.

**Tabela 12.** Média das variáveis biométricas para cultivar de cana-de-açúcar RB 92579 submetida à adubação com fertilizantes organominerais em diferentes doses e fontes de matéria orgânica, com 10 meses de idade, ciclo 1ª cana-soca (2016/2017).

| Tratamentos                              | Diâmetro do colmo (cm) | Altura do colmo (cm) | Número de colmos (perfilhos m <sup>-1</sup> ) | TCH estimado (t ha <sup>-1</sup> ) |
|--|------------------------|----------------------|---|------------------------------------|
| Controle Negativo (sem fertilizante)     | 2,35 b                 | 167,23               | 10,18   | 60,27 b                            |
| Controle Positivo (fertilizante mineral) | 2,81 a                 | 175,14               | 10,60   | 75,85 a                            |
| L1 – dose 50% a base de biossólido       | 2,62 a                 | 170,27               | 10,36   | 72,63 b                            |
| L2– dose 100% a base de biossólido       | 2,85 a                 | 188,30               | 10,93   | 97,34 a                            |
| L3– dose 150% a base de biossólido       | 2,83 a                 | 182,14               | 10,48   | 87,60 a                            |
| L4– dose 200% a base de biossólido       | 2,87 a                 | 175,25               | 10,68   | 86,35 a                            |
| T1– dose 50% a base de torta de filtro   | 2,76 a                 | 181,70               | 11,01   | 84,88 a                            |
| T2– dose 100% a base de torta de filtro  | 2,76 a                 | 174,31               | 11,08   | 82,17 a                            |
| T3– dose 150% a base de torta de filtro  | 2,77 a                 | 174,38               | 10,71   | 79,84 a                            |
| T4– dose 200% a base de torta de filtro  | 2,82 a                 | 186,26               | 11,66   | 90,79 a                            |
| Teste F                                  | 2,72*                  | 1,16 <sup>ns</sup>   | 2,38 <sup>ns</sup>                            | 4,77**                             |
| CV (%)                                   | 6,83                   | 7,13                 | 5,10  | 12,13                              |

Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna, para cada atributo, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott. \*Significativo ao nível de 5% de probabilidade. \*\*Significativo ao nível de 1 % de probabilidade. ns = não significativo a 5%. Fonte: elaborado pelo autor.

Freitas et al. (2013) avaliando o diâmetro médio do colmo para diferentes doses de adubação nitrogenada, na mesma cultivar de cana-de-açúcar RB 92579, verificou um aumento no diâmetro até a dose de 80 kg ha<sup>-1</sup>, representando um aumento de 5,34% em relação a testemunha sem adubação nitrogenada. Entretanto, eles verificaram uma redução de 1% no diâmetro do colmo da dose 80 kg ha<sup>-1</sup> em relação à dose 120 kg ha<sup>-1</sup>.

A estimativa de TCH no ciclo 1ª cana-soca também apresentou diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 12). O controle negativo (CN) e L1 (50% de biossólido) diferiram significativamente de todos os demais, apresentando os menores valores de TCH estimado, 60,27 t ha<sup>-1</sup> e 72,63 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Os valores para as correlações entre TCH estimado e as demais variáveis biométricas, no ciclo 1ª cana-soca, também apresentam correlações significativas (Tabela 13). Todas as variáveis apresentaram correlação positiva com o TCH (Figura 39), tendo o diâmetro médio do colmo o maior valor de 0,836 a uma significância de 1% de probabilidade.

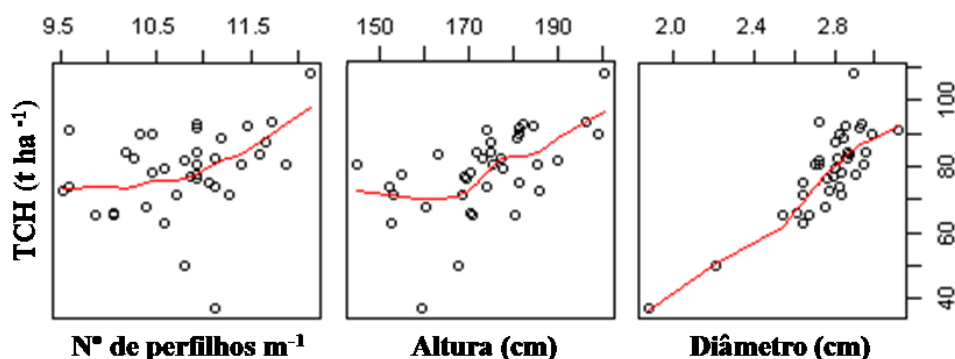
**Tabela 13.** Coeficiente de correlação de Pearson entre os valores médios de TCH estimado e das variáveis biométricas para cultivar de cana-de-açúcar RB 92579, com 10 meses de idade, ciclo 1º cana-soca (2016/2017).

|     | Perfilhos | Altura  | Diâmetro |
|-----|-----------|---------|----------|
| TCH | 0,315*    | 0,566** | 0,836**  |

\*\*Significativo ao nível de 1 % de probabilidade. \*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Fonte: elaborado pelo autor.

**Figura 39.** Matriz de correlação do ciclo 1ª cana-soca (2016/2017) entre os valores médios de TCH estimado e das variáveis biométricas da cana-de-açúcar, com 10 meses de idade.



Fonte: elaborado pelo autor.

Em ambos os ciclos, tanto em ciclo de cana-planta quanto no ciclo de 1ª cana-soca, a variável de diâmetro médio do colmo é a que mais está influenciando na

produtividade estimada da cana-de-açúcar, como demonstra a matriz de correlação (Figura 38 e 39). Destaca-se ainda o número de perfilhos no ciclo cana-planta, o qual foi significativo entre os tratamentos, influenciando positivamente nas diferenças de TCH estimado e na produtividade da cana-de-açúcar.

Estudos realizados por Arantes (2012) demonstram que os diâmetros dos colmos podem sofrer alterações conforme as características genéticas das variedades e do manejo da cultura no campo. Macêdo et al. (2012) ao avaliar a RB 835486 e a RB 867515 sob diferentes regimes hídricos, observaram que o diâmetro dos colmos variou em função do ambiente e da variedade; também foi constatado que o maior potencial produtivo das variedades foi expresso em condições irrigadas.

Igualmente Oliveira et al. (2010) e Oliveira et al. (2016) demonstram que as demais variáveis biométricas, altura de colmo e número de perfilhos, de cultivares de cana-de-açúcar tendem a aumentar com a disponibilidade hídrica. Os autores concluíram que a disponibilidade hídrica promovida pela irrigação durante as fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar, proporciona diferença no perfilhamento, crescimento em altura e acúmulo de matéria seca entre as variedades de cana-de-açúcar analisadas.

O perfilhamento é o processo de emissão de brotações, colmos ou hastes laterais por uma mesma planta, os quais recebem a denominação de perfilhos. É influenciado inicialmente, pela temperatura e pela radiação, e ainda, as características genéticas da variedade e a densidade do plantio são fatores condicionantes. É importante ressaltar que os perfilhos são influenciados durante o desenvolvimento da cana-de-açúcar pelo ciclo (cana-planta ou cana-soca) e pela disponibilidade de água e de nitrogênio no solo (SEGATO et al., 2006; MARAFON, 2012).

Considerando a vertente que a adubação com fertilizante organomineral aumenta a infiltração de água no solo, retém água durante a seca e drena em períodos chuvosos e ainda disponibilizada gradualmente os nutrientes minerais (CORRÊA et al., 2007; BETTIOL; CAMARGO, 2006, MATOS, 2017), a adubação a base de biossólido e torta de filtro se mostrou significativamente positiva na influência do aumento da produtividade estimada da cana-de-açúcar.

Segundo Tavares (2009) um dos principais fatores de alongamento dos entrenós do colmo da cana-de-açúcar é a disponibilidade de água no solo, pois o crescimento celular é um dos processos fisiológicos mais sensíveis à deficiência hídrica, e essa resposta fisiológica ao estresse hídrico, afeta o crescimento das plantas (LARCHER, 2004; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Oliveira et al. (2016) em estudo de biometria de cultivares de cana-de-açúcar sob diferentes reposições hídricas no Vale do Submédio São Francisco, reforça a influência da disponibilidade hídrica na produtividade da cana. Os autores verificaram que o número de entrenós e o número de perfilhos das cultivares de cana-de-açúcar tendem a aumentar com o aumento da reposição hídrica. Da mesma forma que a drenagem de água no solo, promovendo restrição hídrica, pode aumentar os diâmetros dos colmos, tanto em ciclo de cana-planta quanto em cana-soca.

Aquino; Medina (2014) também demonstraram que a palhada (cobertura morta proveniente das ponteiros dos colmos da cana-de-açúcar deixados no campo após a colheita mecanizada) apresentou efeito significativo sobre o número de perfilhos por hectare. Os tratamentos com 75, 100 e 50% de palhada apresentaram e mantiveram maior número de perfilhos, durante todo o ciclo da cultura, e a curva de incremento populacional foi menor para os tratamentos 0 e 25% de palhada.

Estudos observaram que após 16 anos de cultivo da cana-de-açúcar com e sem queima da palhada, houve maior produtividade no sistema cana crua (colheita com despalha manual), o que promoveu incrementos do rendimento dos colmos. Os autores verificaram que a presença da palhada na superfície do canavial conservou a umidade do solo, sendo benéfico para o desenvolvimento do vegetal pela maior disponibilidade hídrica (TAVARES, LIMA, ZONTA, 2010).

As ANOVAs para dois fatores, fontes/doses de fertilizantes (tratamentos) e o ciclo da cana-de-açúcar, relativa às variáveis biométricas e a produtividade estimada (Tabela 14) indicaram que existem diferenças nas médias de todas variáveis e no TCH entre os tratamentos. Entretanto, apenas a variável de diâmetro médio do colmo e o TCH apresentaram diferenças significativas entre os ciclos da cana-planta e 1ª cana-soca. Não houve interação entre os períodos do ciclo da cana-de-açúcar e as fontes e doses de adubação.

Os gráficos de interação entre os tratamentos e o ciclo da cana-de-açúcar demonstram que o diâmetro médio do colmo e o TCH estimado tiveram uma redução significativa em seus valores do ciclo cana-planta para a 1ª cana-soca, com exceção do tratamento T4 (200% torta de filtro) (Figura 40 e 41).

**Tabela 14.** Análise de Variância - ANOVA para dois fatores: fontes e doses de fertilizantes (tratamentos) e ciclo da cana-de-açúcar relativa às variáveis biométricas e a produtividade estimada.

| ANOVA                   |    |       |       |
|-------------------------|----|-------|-------|
| Fonte                   | GL | F     | P     |
| Diâmetro médio do colmo |    |       |       |
| Tratamentos             | 9  | 2,58  | 0,014 |
| Ciclo                   | 1  | 8,05  | 0,006 |
| Ciclo x tratamentos     | 9  | 1,27  | 0,271 |
| Altura média do colmo   |    |       |       |
| Tratamentos             | 9  | 2,274 | 0,029 |
| Ciclo                   | 1  | 0,002 | 0,969 |
| Ciclo x tratamentos     | 9  | 0,257 | 0,983 |
| Perfilhos               |    |       |       |
| Tratamentos             | 9  | 4,49  | 0,001 |
| Ciclo                   | 1  | 0,00  | 1,000 |
| Ciclo x tratamentos     | 9  | 0,538 | 0,841 |
| TCH estimado            |    |       |       |
| Tratamentos             | 9  | 3,12  | 0,003 |
| Ciclo                   | 1  | 4,92  | 0,030 |
| Ciclo x tratamentos     | 9  | 1,15  | 0,339 |

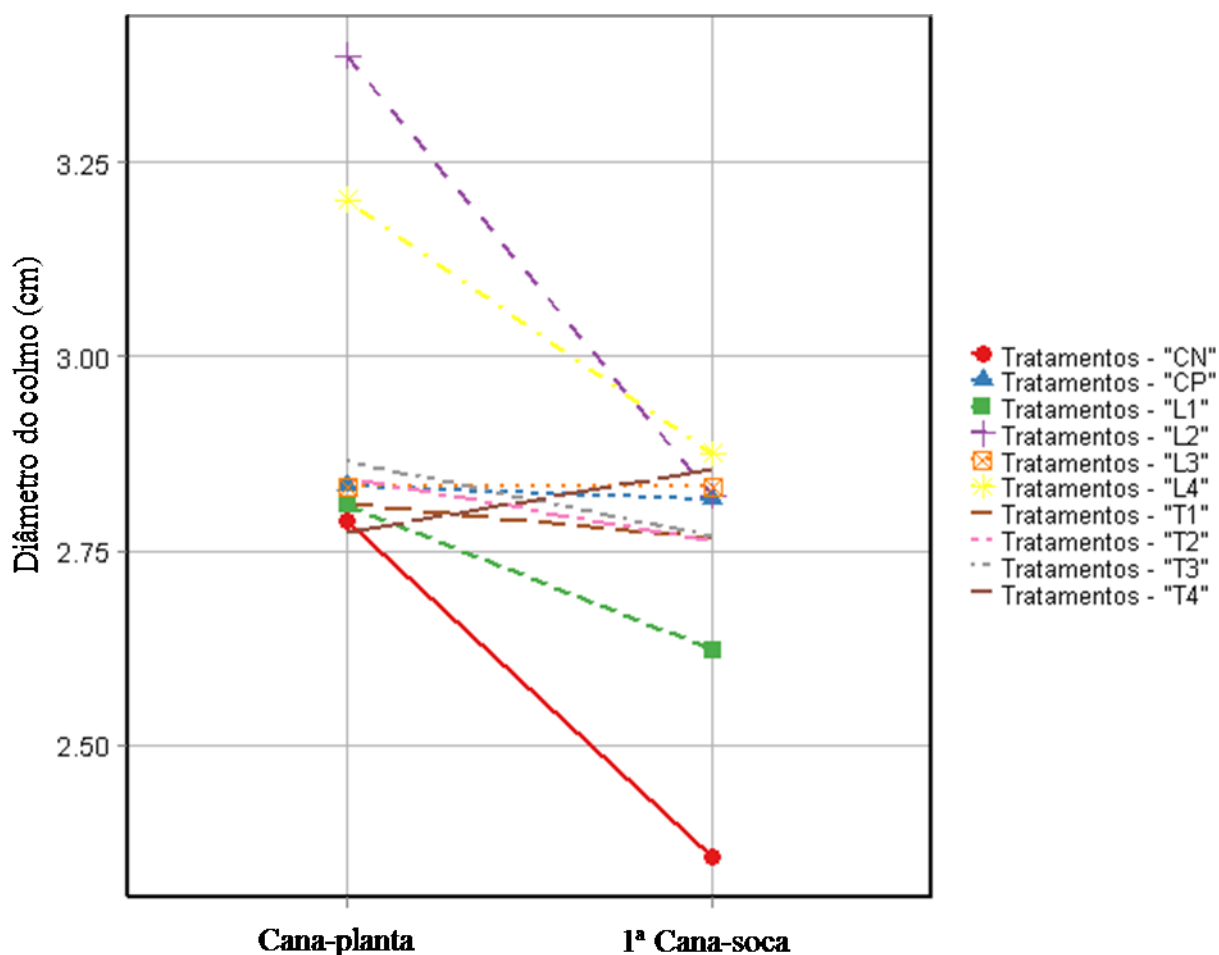
Fonte: elaborado pelo autor.

O decréscimo observado na produtividade estimada entre os ciclos da cana-de-açúcar é um fator inerente às características da longevidade do canavial. A longevidade do canavial decorre basicamente das características biológicas das variedades plantadas. A capacidade de rebrota da planta possibilita vários cortes, porém a cada corte a produtividade da cana-de-açúcar decresce (FERNANDES, 2011).

Estudos de revisão realizados por Borba; Bazzo (2009) evidenciaram que a produtividade de um canavial reduz a cada ciclo, tendo em média no Brasil um ciclo de seis cortes. Como exemplo, os dados apresentados por CANAPLAN (2007) apud Borba; Bazzo (2009) de um canavial de alta produtividade na região de Ribeirão Preto-SP apresenta em média uma produtividade por corte 134,5 t ha<sup>-1</sup> cana-planta, 107,7 t ha<sup>-1</sup> no 2º corte, 92,8 t ha<sup>-1</sup>

<sup>1</sup> no 3º corte, 84,4 t ha<sup>-1</sup> no 4º corte, 80,5 t ha<sup>-1</sup> no 5º corte e de estimativa de 66,5 t ha<sup>-1</sup> no 6º corte. Os autores reforçam a necessidade periódica de reforma dos canaviais para se garantir as médias de produtividade.

**Figura 40.** Gráfico de interação do diâmetro médio do colmo entre os ciclos da cana-de-açúcar e as fontes/doses de adubação (tratamentos).



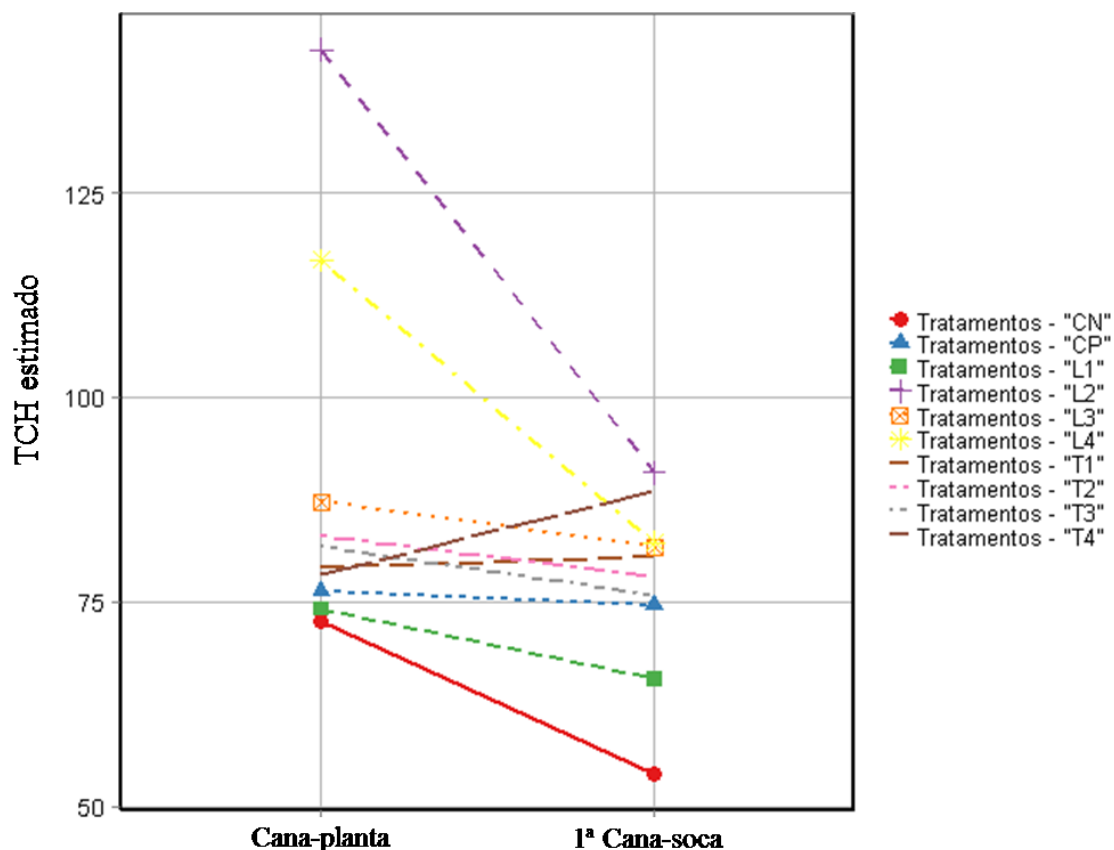
Fonte: elaborado pelo autor.

Entretanto, Orlando Filho et al. (1999) enfatiza que o manejo adequado de um canavial, especialmente da uma boa adubação, pode resultar tanto em aumento da produtividade da cultura quanto na sua longevidade, aumentando, por conseguinte, o número de colheitas ou cortes entre as reformas.

Vitti et al. (2007) demonstraram que os estoques de nitrogênio e enxofre no sistema radicular ao final da 2ª cana-soca relacionam-se positivamente com a produtividade de colmos da cana-de-açúcar na 3ª cana-soca. Os autores evidenciaram ainda que o nitrogênio

da fertilização nitrogenada em doses crescentes até  $175 \text{ kg ha}^{-1}$  resulta em aumento linear na produtividade de colmos de uma 2ª cana-soca; esse efeito se estende para a 3ª cana-soca.

**Figura 41.** Gráfico de interação do TCH estimado entre os ciclos da cana-de-açúcar e as fontes/doses de adubação (tratamentos).



Fonte: elaborado pelo autor.

### 5.3 Produtividade, variáveis químico-tecnológicas e total de açúcar produzido por hectare (TAH)

A produtividade da cana-de-açúcar apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, tanto no primeiro ano de cultivo, cana-planta (2015/2016) quanto no segundo ano na 1ª cana-soca (2016/2017) (Tabela 15). Em ambos os ciclos, a maior produção de colmos foi observada nos tratamentos que receberam aplicação de fertilizante com organomineral.

A produtividade com a aplicação da mesma quantidade de nutrientes minerais aplicada via fertilizante organomineral a base de bio sólido se mostrou mais eficiente que a adubação tradicional realizada com a aplicação do fertilizante mineral. Observou-se ganhos

de produtividade de 1% no ciclo cana-planta e de 7,2 % no ciclo 1ª cana-soca do tratamento L2 com o controle positivo (Tabela 15).

**Tabela 15.** Produtividade ( $t\ ha^{-1}$ ) de cana-de-açúcar dos ciclos de cana-planta e 1ª cana-soca, adubados com fertilizante organomineral.

| Tratamentos                              | Cana-planta              | 1ª Cana-soca             |
|--|--------------------------|--------------------------|
|  | ----- $t\ ha^{-1}$ ----- | ----- $t\ ha^{-1}$ ----- |
| Controle Negativo (sem fertilizante)     | 151,11 b                 | 139,06 b                 |
| Controle Positivo (fertilizante mineral) | 158,91 a                 | 152,01 b                 |
| L1 – dose 50% a base de biossólido       | 154,04 b                 | 148,85 b                 |
| L2– dose 100% a base de biossólido       | 159,11 a                 | 163,97 a                 |
| L3– dose 150% a base de biossólido       | 152,98 b                 | 156,70 a                 |
| L4– dose 200% a base de biossólido       | 159,03 a                 | 152,72 b                 |
| T1– dose 50% a base de torta de filtro   | 162,79 a                 | 146,98 b                 |
| T2– dose 100% a base de torta de filtro  | 153,86 b                 | 150,26 b                 |
| T3– dose 150% a base de torta de filtro  | 159,36 a                 | 147,84 b                 |
| T4– dose 200% a base de torta de filtro  | 157,39 a                 | 144,26 b                 |
| Teste F                                  | 2,50*                    | 2,75*                    |
| CV (%)                                   | 2,95                     | 4,99                     |

Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna, para cada atributo, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott. \*Significativo ao nível de 5% de probabilidade. \*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade. ns = não significativo a 5%.

Fonte: elaborado pelo autor.

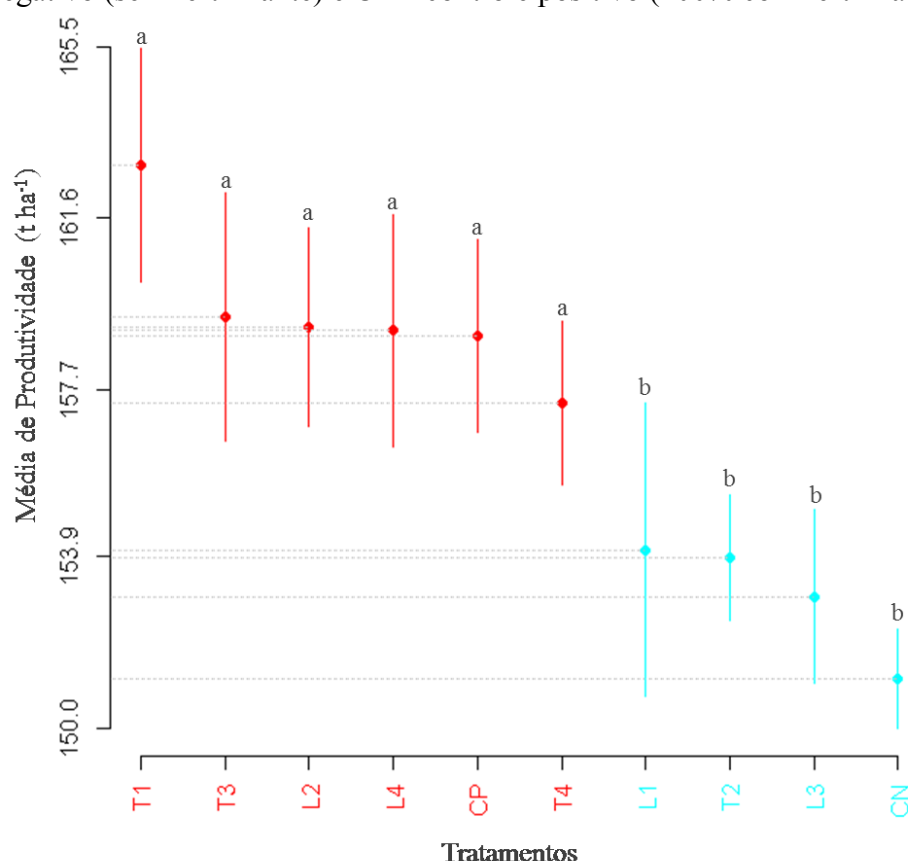
No ciclo cana-planta o controle negativo (sem adubação) não apresentou diferença significativa na produtividade com os tratamentos L1, T2 e L3, embora esses tenham se mostrado mais eficiente e influenciado de forma positiva na produtividade cana-planta, produzindo em torno de 1,5% de colmo a mais (Figura 42). A semelhança desses tratamentos que receberam aplicação com fertilizante organomineral com o controle negativo possa ser devido ao preparo do solo que recebeu fosfatagem. Esse preparo forneceu condições para o desenvolvimento da cana-planta em relação aos níveis de P, alcançado essa produtividade no controle negativo mesmo não recebendo fertilizante no sulco de plantio.

De acordo com o teste de Scott-Knott os tratamentos com fertilizante organomineral, T1, T3, T4, L2, L4 e o controle positivo com aplicação de fertilizante mineral não diferiam entre si na produção de colmos. Entretanto, destaca-se que a maior produtividade



alcançada no ciclo cana-planta foi observada no tratamento que recebeu 50% da quantidade de nutrientes minerais via fertilizante organomineral a base de torta de filtro (Figura 42).

**Figura 42.** Média de produtividade da cana-de-açúcar no ciclo cana-planta (2015/2016) em cultivar RB 92579 submetida à adubação com organomineral em diferentes doses/fontes: L1 – 50% a base de biossólido, L2 – 100% a base de biossólido, L3 – 150% a base de biossólido, L4 – 200% a base de biossólido, T1 – 50% a base de torta de filtro, T2 – 100% a base de torta de filtro, T3 – 150% a base de torta de filtro, T4 – 200% a base de torta de filtro, CN – controle negativo (sem fertilizante) e CP – controle positivo (100% com fertilizante mineral).



Médias seguidas de letras iguais no mesmo gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Fonte: elaborado pelo autor.

Esses resultados revelam que a matéria orgânica presente nos fertilizantes organominerais potencializa a disponibilidade de NPK às plantas, mantendo-as adequadamente nutridas mesmo em dosagem menor de NPK disponibilizada inicialmente no solo (KIEHL, 2008).

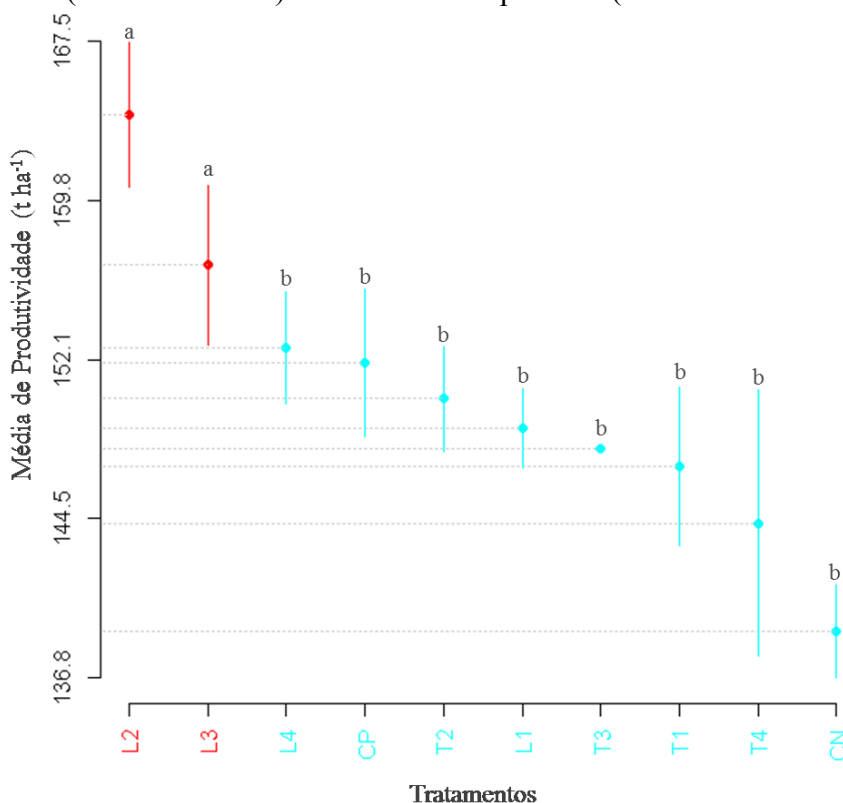
Estudos demonstram que o uso da torta de filtro como base de fertilizante organomineral em plantas de cana-de-açúcar responde favoravelmente com acúmulo de fósforo, potássio e cobre na parte aérea das plantas aumentando os ganhos na produtividade (ALMEIDA JUNIOR et al., 2011; SOUSA, 2014). Esses autores recomendam o uso da torta

de filtro via fertilizante organomineral como forma de maximizar o efeito sobre a produtividade e reduzir custos com os fertilizantes minerais.

Santos et al. (2011) chegou a conclusão que o fertilizante organomineral, produzido pela torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel e posteriormente peletizados, apresentam alta eficiência na produtividade do cultivo de cana-de-açúcar. Teixeira et al. (2014) verificou que não houve diferença de efeitos entre as fontes de  $P_2O_5$  via fertilizante organomineral com torta de filtro vs fertilizante mineral, o que indica eficiência semelhante dos fertilizantes na produção de colmos e rendimento de açúcar da cultura.

No segundo ano do canavial, ciclo 1ª cana-soca, a produtividade dos tratamentos que receberam o fertilizante organomineral a base de biossólido com 100% de nutrientes (L2) e com 150% (L3) diferiram significativamente dos demais (Figura 43).

**Figura 43.** Média de produtividade da cana-de-açúcar no ciclo 1ª cana-soca (2016/2017) em cultivar RB 92579 submetida à adubação com organomineral em diferentes doses/fontes: L1 – 50% a base de biossólido, L2 – 100% a base de biossólido, L3 – 150% a base de biossólido, L4 – 200% a base de biossólido, T1 – 50% a base de torta de filtro, T2 – 100% a base de torta de filtro, T3 – 150% a base de torta de filtro, T4 – 200% a base de torta de filtro, CN – controle negativo (sem fertilizante) e CP – controle positivo (100% com fertilizante mineral).



Médias seguidas de letras iguais no mesmo gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Fonte: elaborado pelo autor.

Dados semelhantes foram encontrados por Oliveira et al. (2016) em cultura do sorgo submetida a adubação com fertilizantes organominerais. Verificaram que em condições de estufa, os fertilizantes organominerais a base de biossólido e outras fontes de matéria orgânica, mostraram aumento da biomassa vegetal, altura da planta, diâmetro do caule, clorofila a e b e área foliar em relação ao controle (sem fertilizante) ou fertilização mineral.

Moraes (2017) em cultura de cana-de-açúcar adubada com fertilizante organomineral a base de biossólido e fertilizante mineral não encontrou diferença no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar nem nos parâmetros de produtividade de açúcar. Em cultura de eucalipto Afáz et al. (2017) verificou que o uso do biossólido promoveu aumento na matéria seca das plantas com ganho de 50% comparado ao fertilizante mineral, concluindo que o biossólido como fonte de fertilizante organomineral pode substituir a adubação mineral.

Independentemente do ano do cultivo da cana-de-açúcar, ambos fertilizantes organominerais, a base de biossólido e de torta de filtro, obtiveram maior eficiência na produção de colmos (tonelada por hectare). Esse resultado positivo está parcialmente relacionado ao fato dos fertilizantes organominerais utilizados estarem bioestabilizados em pellets, contendo a mistura de matéria orgânica e NPK envolvida por um polímero orgânico. Essa característica dos fertilizantes organominerais garante uma superioridade aos fertilizantes minerais devido ao fornecimento contínuo de nutrientes à cultura ao longo do ciclo da cana-de-açúcar e ainda evita perdas de nutrientes por lixiviação e percolação no perfil do solo (SOUSA, 2014).

Os fertilizantes organominerais ao serem aplicados no solo podem influenciar na adsorção e dessorção de P de diferentes formas. A matéria orgânica presente nos fertilizantes organominerais diminui a adsorção e aumenta a disponibilidade de P para as plantas. E ainda, o solo possui a capacidade de adsorver ácidos orgânicos com alta intensidade, competindo com os sítios de adsorção de P, alguns desses ácidos orgânicos podem ser rapidamente mineralizados quando aplicados ao solo e disponibilizados para as plantas (NOVAIS et al., 2007).

Santos et al. (2009) afirmam que o uso de adubos organominerais a base de resíduos orgânicos, como o biossólido e a torta de filtro, liberam resíduos eventuais como ácidos húmicos e álcoois, que fornecem substâncias como fenóis que contribuem para aumentar a disponibilidade de fósforo no solo.

Considerando a produtividade de colmos, independente do tratamento, vale destacar que a variedade RB 92579 apresentou excelentes valores de produtividade nos ciclos

cana-planta e 1ªcana-soca. Todos se situaram ou acima de 100 t ha<sup>-1</sup>, valor similar ao encontrado em regiões tradicionais de produção de cana-de-açúcar, como aqueles citados por Landell et al. (2004), de 103,4 até 126,6 t ha<sup>-1</sup> de colmos industrializáveis, para Ribeirão Preto, Adamantina, Mococa/Mantiqueira e Triângulo Mineiro.

A ANOVA para dois fatores, fontes/doses de fertilizantes (tratamentos) e o ciclo da cana-de-açúcar, relativa à produtividade de cana-de-açúcar (Tabela 16) indicaram que existem diferenças nas médias de produção de colmos (tonelada por hectare) entre os tratamentos e apresentaram diferenças significativas entre os ciclos da cana-planta e 1ª cana-soca. E ainda houve interação entre os ciclos da cana-de-açúcar e as fontes/doses de adubação demonstrando que a idade do canavial interfere na produtividade final.

**Tabela 16.** Análise de Variância - ANOVA para dois fatores: fontes/doses de fertilizantes (tratamentos) e ciclo da cana-de-açúcar relativa à produtividade (t ha<sup>-1</sup>)

| ANOVA               |    |       |       |
|---------------------|----|-------|-------|
| Fonte               | GL | F     | P     |
| Produtividade       |    |       |       |
| Tratamentos         | 9  | 4,20  | <0,01 |
| Ciclo               | 1  | 25,38 | <0,01 |
| Ciclo x tratamentos | 9  | 2,79  | <0,01 |

Fonte: elaborado pelo autor.

Os gráficos de interação entre os tratamentos e o ciclo da cana-de-açúcar demonstram que a produtividade teve uma redução significativa em seus valores do ciclo cana-planta para a 1ª cana-soca, com exceção do tratamento L2 (100% biossólido) e L3 (150% biossólido) (Figura 44).

O aumento de produtividade na 1ª cana-soca observado nos tratamentos que receberam o biossólido como fonte de matéria orgânica no fertilizante organomineral provavelmente forneceu suprimento de nutrientes (NPK) residual de ano para o outro favorecido por sua matriz orgânica. Segundo Novais (2007) com o passar do tempo os solos que foram adubados com fertilizantes organominerais melhoram sua disponibilidade de fósforo devido a sua ação indireta e sua capacidade de “slow release”.

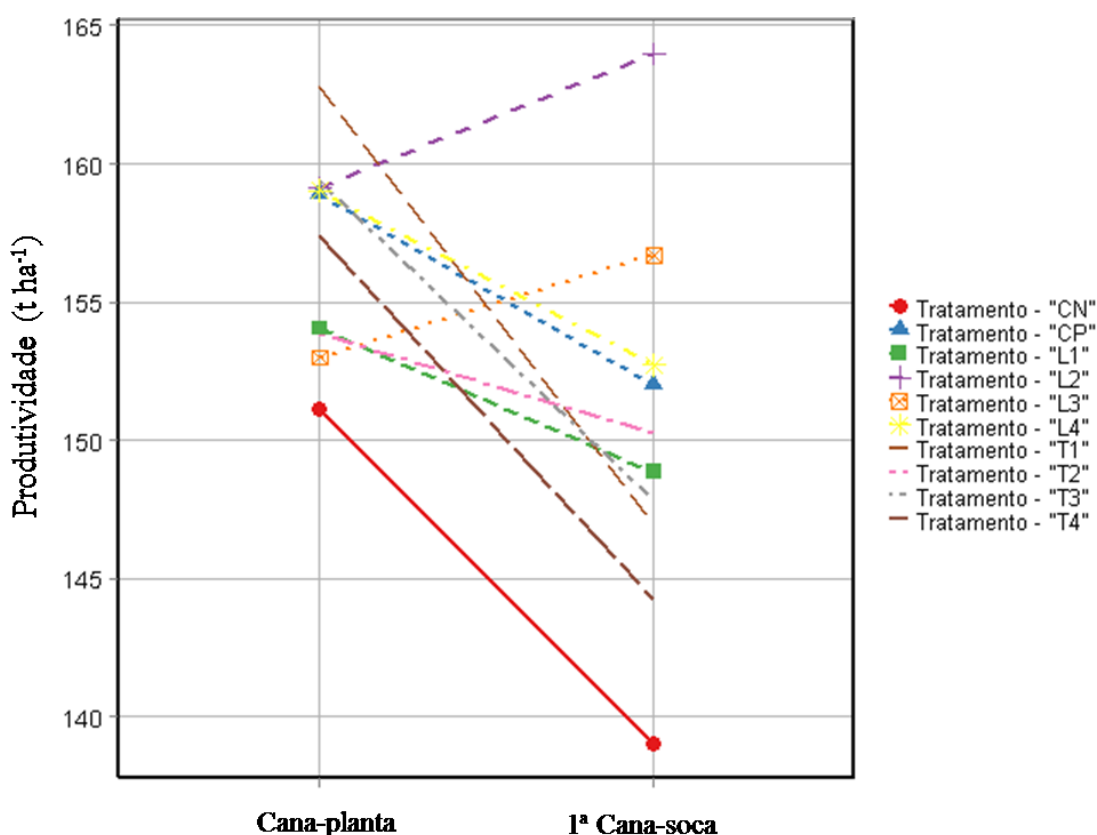
Vitti et al. (2007) demonstram que os estoques de nitrogênio e enxofre no sistema radicular ao final da 2ª cana-soca relacionam-se positivamente com a produtividade de colmos

da cana-de-açúcar na 3ª cana-soca. E ainda evidenciaram que o nitrogênio da fertilização nitrogenada em doses crescentes até  $175 \text{ kg ha}^{-1}$  resulta em aumento linear na produtividade de colmos de uma 2ª cana-soca; esse efeito se estende para a 3ª cana-soca.

Benett et al. (2012) em avaliação da qualidade e produtividade da cana-planta e cana-soca em função de doses e fontes de manganês verificou que as fontes de manganês não influenciaram a produtividade de colmos em cana-planta e 1ª cana-soca na variedade RB 867515. Entretanto, a dose de manganês de até  $10 \text{ kg ha}^{-1}$  aumentou os valores de produtividade em cana-planta, mas não em cana-soca.

Hanauer (2011) trabalhando com três clones de cana-de-açúcar, verificou maior produtividade em cana-soca somente com o clone SP 711406. Contrariamente, Moraes et al. (2017) constatou uma tendência de manutenção e mesmo aumento da produtividade de colmos da cana-planta para cana-soca, sendo que dos 25 clones avaliados 13 apresentaram maior produtividade no ciclo cana-soca.

**Figura 44.** Gráfico de interação da produtividade da cana-de-açúcar entre os ciclos da cana e as fontes/doses de adubação (tratamentos).



Fonte: elaborado pelo autor.

As variáveis químico-tecnológicas na cana-planta (Tabela 17) e cana-soca (Tabela 18) foram alteradas com a aplicação fertilizante organomineral e mineral. Entretanto, as variáveis do brix, pol% caldo (PCC) e ATR no ciclo cana-planta houve diferença apenas do controle negativo (sem fertilizante) com os demais tratamentos (Tabela 17). No ciclo 1ª cana-soca a diferença entre tratamentos ocorreu apenas no pol% caldo, na pureza e no ATR (Tabela 18).

**Tabela 17.** Efeitos das doses e fontes de fertilizantes organominerais nas variáveis químico-tecnológicas da cana-de-açúcar, ciclo cana-planta (2015/2016).

| Tratamentos                              | Brix          | PCC     | Pureza             | Fibra   | ATR                |
|--|---------------|---------|--------------------|---------|--------------------|
|  | ----- % ----- |         |                    |         | kg t <sup>-1</sup> |
| Controle Negativo (sem fertilizante)     | 19,14 b       | 13,88 b | 87,70              | 13,04 b | 138,67 b           |
| Controle Positivo (fertilizante mineral) | 20,51 a       | 15,03 a | 88,97              | 13,58 a | 149,22 a           |
| L1 – dose 50% a base de biossólido       | 20,68 a       | 15,35 a | 89,49              | 13,18 b | 152,19 a           |
| L2– dose 100% a base de biossólido       | 20,80 a       | 15,33 a | 89,50              | 13,60 a | 151,93 a           |
| L3– dose 150% a base de biossólido       | 20,81 a       | 15,32 a | 88,70              | 13,13 a | 152,18 a           |
| L4– dose 200% a base de biossólido       | 20,56 a       | 15,10 a | 89,17              | 13,60 a | 149,83 a           |
| T1– dose 50% a base de torta de filtro   | 20,48 a       | 14,86 a | 88,60              | 13,90 a | 147,68 a           |
| T2– dose 100% a base de torta de filtro  | 20,60 a       | 15,21 a | 89,01              | 13,18 b | 151,03 a           |
| T3– dose 150% a base de torta de filtro  | 20,58 a       | 15,04 a | 88,76              | 13,63 a | 149,36 a           |
| T4– dose 200% a base de torta de filtro  | 20,87 a       | 15,29 a | 88,80              | 13,47 a | 151,84 a           |
| Teste F                                  | 3,96*         | 3,32*   | 0,86 <sup>ns</sup> | 2,24*   | 3,34**             |
| CV (%)                                   | 2,43          | 3,20    | 1,25               | 2,75    | 2,98               |

Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna, para cada atributo, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott. \*Significativo ao nível de 5% de probabilidade. \*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade. ns = não significativo a 5%.Fonte: elaborado pelo autor.

Os valores do brix encontrados no presente trabalho foram maiores que 18%, tanto no ciclo cana-planta quanto na 1ª cana-soca. Segundo Marques et al. (2001) o valor ideal do brix é de 18%, sendo uma variável importante para produtividade da cana-de-açúcar, pois o brix tem uma relação direta com teor de açúcares do caldo e corresponde a 18 a 25% do total do mesmo (LAVANHOLI, 2010).

O pol% cana (PCC) representa o teor de sacarose aparente da cana-de-açúcar e quanto maior o valor melhor para a indústria canavieira, a qual possui uma expectativa de valor ideal de pol% cana acima de 14% (RIPOLI; RIPOLI, 2004). Os valores de pol da cana abaixo de 14% foram observados apenas nos tratamentos sem fertilizante e no T2 (100% de torta de filtro) no ciclo 1ª cana-soca com média de 13,62%.

**Tabela 18.** Efeitos das doses e fontes de fertilizantes organominerais nas variáveis químico-tecnológicas da cana-de-açúcar, ciclo 1ª cana-soca (2016/2017).

| Tratamentos                              | Brix               | PCC     | Pureza  | Fibra              | ATR                |
|--|--------------------|---------|---------|--------------------|--------------------|
|  | ----- % -----      |         |         |                    | kg t <sup>-1</sup> |
| Controle Negativo (sem fertilizante)     | 17,76              | 12,90 b | 87,12 b | 12,88              | 124,28 b           |
| Controle Positivo (fertilizante mineral) | 18,93              | 14,15 a | 90,54 a | 13,44              | 140,41 a           |
| L1 – dose 50% a base de biossólido       | 19,19              | 14,38 a | 89,70 a | 12,78              | 142,85 a           |
| L2– dose 100% a base de biossólido       | 19,42              | 14,60 a | 90,22 a | 13,01              | 144,78 a           |
| L3– dose 150% a base de biossólido       | 18,91              | 14,20 a | 90,34 a | 13,05              | 140,93 a           |
| L4– dose 200% a base de biossólido       | 18,64              | 14,01 a | 90,46 a | 13,09              | 139,08 a           |
| T1– dose 50% a base de torta de filtro   | 19,19              | 14,44 a | 89,80 a | 12,63              | 143,35 a           |
| T2– dose 100% a base de torta de filtro  | 18,40              | 13,62 a | 88,79 b | 12,89              | 135,78 a           |
| T3– dose 150% a base de torta de filtro  | 18,69              | 14,09 a | 90,13 a | 12,70              | 139,96 a           |
| T4– dose 200% a base de torta de filtro  | 19,23              | 14,57 a | 90,19 a | 12,46              | 144,61 a           |
| Teste F                                  | 2,09 <sup>ns</sup> | 2,23*   | 2,25*   | 0,53 <sup>ns</sup> | 3,76**             |
| CV (%)                                   | 3,6                | 4,85    | 1,55    | 5,83               | 4,46               |

Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna, para cada atributo, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott. \*Significativo ao nível de 5% de probabilidade. \*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade. ns = não significativo a 5%.Fonte: elaborado pelo autor.

A pureza do caldo representa a qualidade da matéria-prima para se recuperar em açúcar e os fertilizantes organominerais, a base de biossólido e torta de filtro, mantiveram valores semelhantes com o fertilizante mineral. A pureza do caldo em todos os tratamentos ficou acima de 85% em ambos os ciclos de cultivo, superando o valor ideal estimado pela indústria canavieira (RIPOLI; RIPOLI, 2004), pois de acordo com as normas de qualidade da matéria-prima estabelecida pela CONSECANA (2006), as unidades industriais poderão recusar o recebimento de carregamentos de cana-de-açúcar com pureza abaixo de 75%.

Estudo realizado por Anjos et al. (2007) com duas cultivares, (SP79-1011 e RB 72454) em três épocas de colheita (julho, agosto, setembro) os valores obtidos para brix e pol (%) cana foram estatisticamente iguais quando se compara a aplicação do esterco de curral com a adubação química, mostrando que a dose de esterco de curral utilizada não afetou a maturação da cana-de-açúcar. O mesmo aconteceu comparando-se o uso de esterco de galinha, e o de adubo mineral para as duas cultivares, nas duas primeiras épocas de corte (julho e agosto).

O teor de fibra observado ficou acima de 13% no ciclo cana-planta e oscilou entre 12-13% na 1ª cana-soca. Esses valores que ficaram dentro da faixa ideal considerada pelos autores Fernandes (2003) e Ripoli; Ripoli (2004), os quais afirmam que os níveis de fibra devem variar de 10 a 13%.

Almeida Júnior et al. (2016) estudando a influência de quatro doses de adubação orgânica a base de cama de peru combinados com fertilizante mineral em dois sistemas de adubação (dentro e fora do sulco de plantio) na cana-de-açúcar não foi observado significância nas médias com valor de 12,64% de fibra, no sistema de produção com adubação dentro do sulco.

Apesar da adubação com fertilizante organomineral, de maneira geral, favorecer em uma maior produtividade da cana-de-açúcar, as variáveis químico-tecnológicas apresentaram resultados semelhantes de brix, pol% cana (PCC), pureza, fibra e ATR quando comparadas ao tratamento que recebeu fertilizante mineral. Em síntese, não houve interferência de fontes e doses de fertilizante organomineral e de fertilizante mineral utilizadas no plantio e na soqueira da cana-de-açúcar, o que corrobora com Vasquez et al. (2015) que verificaram que o valor do pol% caldo (PCC) e do ATR não foi influenciado pela dose e fonte de fósforo (incluindo tratamentos com torta de filtro).

Esses resultados também concordam com os dados encontrados por Sousa (2014) que observou que o teor de brix, o pol% cana (PCC) e o ATR da cana-de-açúcar adubada com fertilizante organomineral a base de torta de filtro não diferiu das plantas adubadas com fertilizante mineral. Caione et al. (2011) verificaram que o teor de brix de cana-planta em duas variedades de cana-de-açúcar não foi influenciado pela fontes de fósforo utilizadas na adubação. Fravet et al. (2010) também não verificou resposta significativa nos teores das variáveis brix, pol% cana, TCH e TPH na avaliação dos efeitos do modo de aplicação da torta de filtro na linha superficial e na entrelinha no ciclo de cana-soca.

Teixeira et al. (2016) ao analisar as características tecnológicas do caldo de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solo de cerrado com diferentes níveis de adubação fosfatada verificou que as doses de  $P_2O_5$  em adubação corretiva não influenciaram sobre os teores de brix, pol% cana, fibra e do ATR. Entretanto, foram observadas diferenças entre as variedades de cana-de-açúcar quanto ao nível de fertilizante fosfatado aplicado.

Moraes (2017) observou que as variáveis de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, pureza, fibra, brix e ATR foram semelhantes em resposta a adubação com fonte de fertilizante organomineral de biossólido e a fonte mineral. Verificou que a fonte com 120% da recomendação do organomineral, com e sem bioestimulante, não houve diferença significativa quando comparado a 100% do percentual de recomendação de fertilizante mineral.

O total de açúcar produzido por hectare (TAH) nos tratamentos em cana-planta e 1ª cana-soca foi calculado com base na variável tecnológica pol% cana e na produtividade da



cana-de-açúcar (Tabela 19), apresentando significância apenas do tratamento sem fertilizante com todos os demais.

**Tabela 19.** Total de açúcar por hectare (TAH) nos ciclos de cana-planta e 1ª cana-soca, em função da aplicação de fertilizante organomineral.

| Tratamentos                              | Cana-planta                    | 1ª Cana-soca |
|--|--------------------------------|--------------|
|  | ----- t ha <sup>-1</sup> ----- | -----        |
| Controle Negativo (sem fertilizante)     | 20,97 a                        | 17,94 a      |
| Controle Positivo (fertilizante mineral) | 23,90 b                        | 21,54 b      |
| L1 – dose 50% a base de biossólido       | 23,65 b                        | 21,41 b      |
| L2– dose 100% a base de biossólido       | 24,36 b                        | 24,00 b      |
| L3– dose 150% a base de biossólido       | 23,45 b                        | 22,25 b      |
| L4– dose 200% a base de biossólido       | 24,00 b                        | 21,41 b      |
| T1– dose 50% a base de torta de filtro   | 24,21 b                        | 21,18 b      |
| T2– dose 100% a base de torta de filtro  | 23,41 b                        | 20,48 b      |
| T3– dose 150% a base de torta de filtro  | 23,97 b                        | 20,84 b      |
| T4– dose 200% a base de torta de filtro  | 24,06 b                        | 21,07 b      |
| Teste F                                  | 4,63**                         | 3,49*        |
| CV (%)                                   | 3,83                           | 7,60         |

Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna, para cada atributo, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott. \*Significativo ao nível de 5% de probabilidade. \*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade. ns = não significativo a 5%.

Fonte: elaborado pelo autor.

A produção de açúcar (TAH) com a aplicação da mesma quantidade de nutrientes de minerais aplicada via fertilizante organomineral a base de biossólido e torta de filtro apresentou maiores médias que a adubação tradicional realizada com a aplicação do fertilizante mineral. Destaca-se o desempenho do fertilizante organomineral do tratamento L2 (biossólido) com ganhos de 1,88% em cana-planta e de 10,25% na 1ª cana-soca quando comparado com ao fertilizante mineral.

Sousa (2014) observou em seu estudo com dez experimentos de cana-de-açúcar localizados em locais distintos que o fertilizante organomineral a base de torta de filtro sempre produziu o total de açúcar por hectare a mais quando comparado com o mineral na mesma concentração de nutrientes. Fravet et al. (2010) observou que houve um aumento na produção de sacarose por hectare proporcional ao aumento das doses de torta de filtro utilizada na adubação organomineral.

A quantidade de nutrientes solúveis disponibilizados para a cana-de-açúcar fornecidos pelos fertilizantes minerais e organominerais foi semelhante entre si. Entretanto, o componente orgânico, biossólido e torta de filtro, do fertilizante organomineral favoreceu maior média em todas as variáveis (fisiológicas, biométricas e químico-tecnológicas) analisadas neste estudo. Justificado pelo fato que o componente orgânico demanda maior tempo para mineralização e solubilização dos nutrientes para as plantas, o que proporciona uma maior eficiência na absorção de nutrientes (RAMOS et al., 2017).

Os ganhos observados podem ser explicados pela alteração da fertilidade do solo proporcionada pelo biossólido e pela torta de filtro, principalmente na disponibilização de fósforo e nitrogênio. Sousa et al. (2013) demonstrou que o fertilizante organomineral disponibiliza mais fósforo para o solo do que o fertilizante mineral. Esses resultados justificam-se pelos compostos presentes na decomposição dos resíduos orgânicos, como os de caráter aniônico, podem competir com o fosfato pelos sítios de adsorção dos colóides do solo, diminuindo sua adsorção (SILVA; CAMARGO, 2010).

Garcia et al. (2018), Teixeira et al. (2016) observaram que as maiores doses de  $P_2O_5$  aumentaram a média do pol% cana e promoveram maior desenvolvimento inicial e maior teor de P foliar nas plantas de cana-de-açúcar, respectivamente. Lima (2011) ainda destaca que o uso de composto orgânico possibilita a elevação da adsorção do mineral (P) pela cultura da cana-de-açúcar.

As ANOVAs para dois fatores, fontes/doses de fertilizantes (tratamentos) e o ciclo da cana-de-açúcar, relativa ao total de açúcar produzido por hectare (Tabela 20) indicaram que existem diferenças no TAH entre os tratamentos e entre os ciclos de cultivo. Não houve interação entre os períodos do ciclo da cana-de-açúcar e as fontes e doses de adubação.

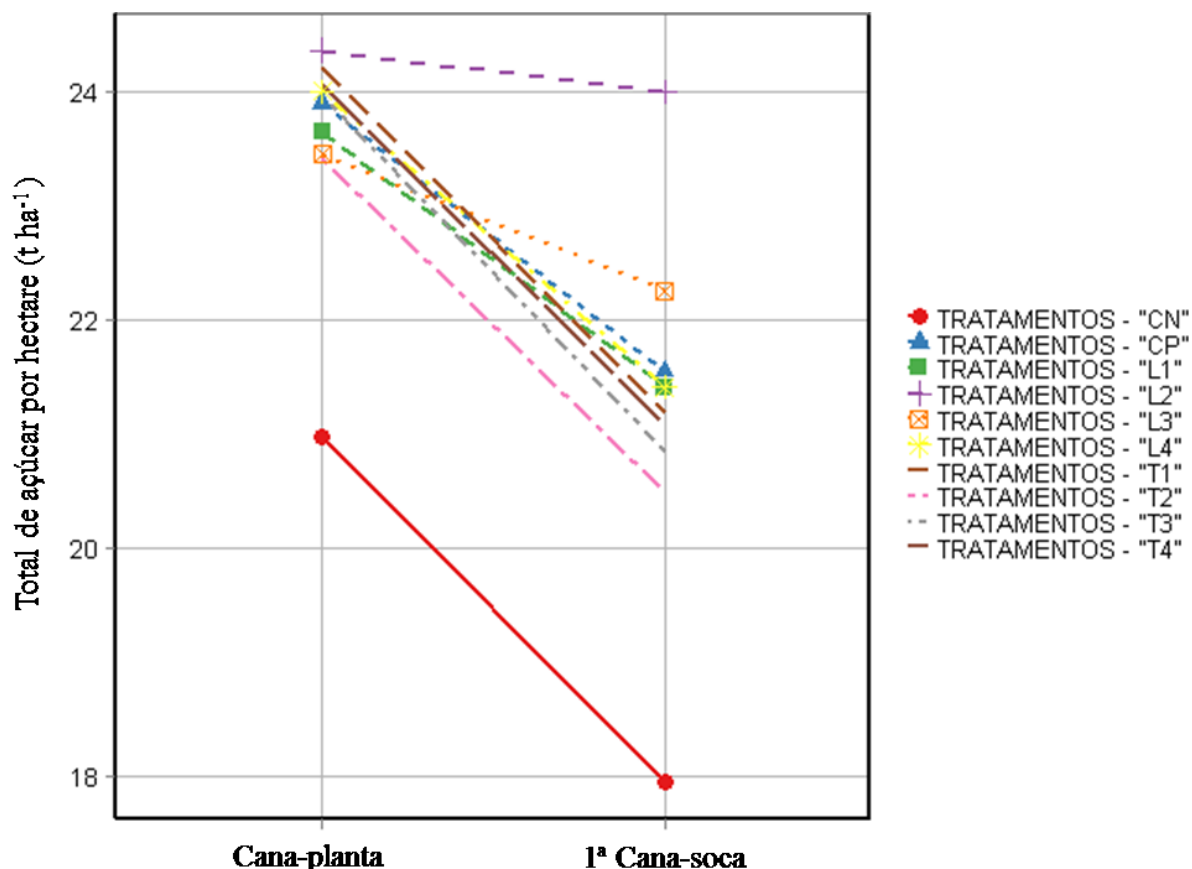
**Tabela 20.** Análise de Variância - ANOVA para dois fatores: fontes/doses de fertilizantes (tratamentos) e ciclo da cana-de-açúcar relativa à TAH ( $t\ ha^{-1}$ ).

| ANOVA               |    |      |       |
|---------------------|----|------|-------|
| Fonte               | GL | F    | P     |
| TAH                 |    |      |       |
| Tratamentos         | 9  | 6,54 | <0,01 |
| Ciclo               | 1  | 66,6 | <0,01 |
| Ciclo x tratamentos | 9  | 0,98 | 0,45  |

Fonte: elaborado pelo autor

O gráfico de interação entre os tratamentos e o ciclo da cana-de-açúcar demonstra que o TAH teve uma redução significativa em seus valores do ciclo cana-planta para a 1ª cana-soca, sendo que a menor redução ocorreu no tratamento em L2 (100% biossólido) (Figura 45).

**Figura 45.** Gráfico de interação do TAH entre os ciclos da cana-de-açúcar e as fontes/doses de adubação (tratamentos).



Fonte: elaborado pelo autor

#### 5.4 Correlação da produtividade (TAH) com as trocas gasosas

De acordo com os valores de correlação apresentados entre o TAH e as trocas gasosas avaliadas, todas apresentaram correlações positivas e significativas no ciclo cana-planta e 1ª cana-soca (Tabela 21). Esses dados indicam que ambas as variáveis influenciam na produção total de açúcar por hectare.

**Tabela 21.** Coeficiente de correlação de Pearson entre os valores médios de TAH e das taxas de fotossíntese líquida e condutância estomática.

|                        | TAH         |              |
|------------------------|-------------|--------------|
|                        | cana-planta | 1ª cana-soca |
| Fotossíntese líquida   | 0,72**      | 0,60**       |
| Condutância estomática | 0,58**      | 0,57**       |

\*\*Significativo ao nível de 1 % de probabilidade. \*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Fonte: elaborado pelo autor.

A fotossíntese líquida, em ambos os ciclo de cultivo, apresentou maior correlação ( $r=0,72$  e  $r=0,60$ ) com o total de açúcar produzido por hectare. Isso reflete que o fornecimento de nitrogênio, fósforo, magnésio e potássio, pela aplicação de organominerais, estão beneficiando diretamente no processo de fotossíntese e na produção de fotoassimilados (açúcares) pela planta. E uma planta quando está suprida por nutrientes minerais aumenta sua produtividade pela aptidão em translocar fotoassimilados para órgãos acumuladores (TAIZ; ZEIGER, 2013, p. 97).

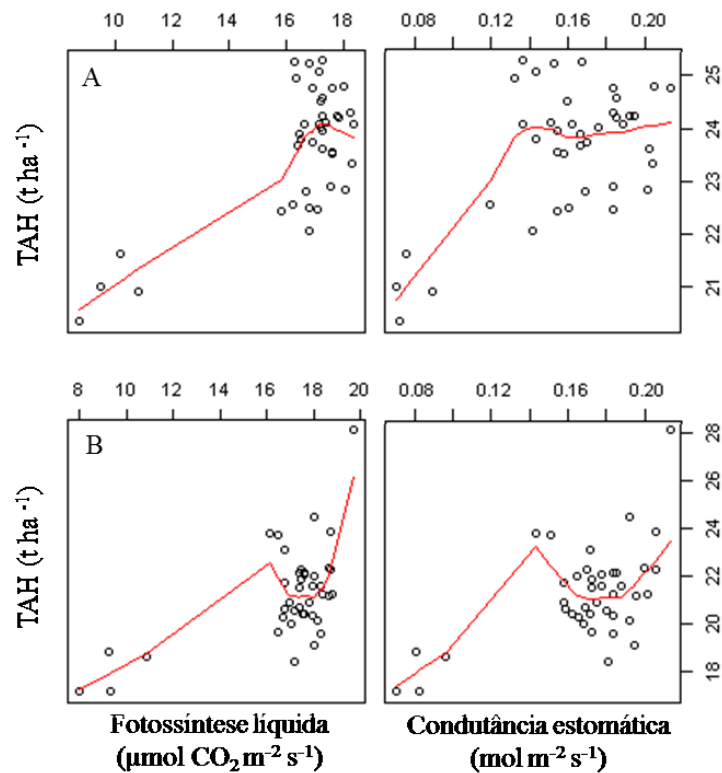
Ferreira Junior et al. (2012) observou que as variedades RB de cana-de-açúcar, quando irrigadas por gotejamento apresentam tendências crescente das correlações entre as produtividades de açúcar e a fotossíntese bruta acumulada durante o ciclo. Destaca ainda que a RB 92579 apresentou maior rendimento de açúcar devido à sua capacidade de rebrotação e maior eficiência em conversão de energia em fotoassimilados.

Observa-se que no ciclo 1ª cana-soca houve uma redução na correlação do TAH com as trocas gasosas, onde a taxa de fotossíntese líquida e a condutância estomática se mantém alta, mas o total de açúcar produzido por hectare diminui (Figura 46).

As reduções nos valores de TAH nas plantas de 1ª cana-soca, sem haver decréscimos na taxa fotossintética (Figura 46), demonstra que a capacidade da cana-de-açúcar em armazenar sacarose está relacionada a um conjunto de fatores morfológicos, enzimáticos e ambientais. A fotossíntese representa apenas um dos fatores limitantes desse processo, mas para entender o armazenamento de sacarose no colmo é necessário também identificar os demais fatores, como: síntese de sacarose, taxa de carregamento, transporte e descarregamento no floema durante a maturação e taxa de transporte de sacarose para o armazenamento no parênquima e vacúolos (MOORE, 2005; RAE et al., 2005; TAIZ; ZEIGER, 2013).

O acúmulo de sacarose varia de acordo com o genótipo, estágio de desenvolvimento da planta e do ambiente em que é cultivada. A planta responde ao ambiente através da transdução de sinais que coordenam o seu desenvolvimento, além do acúmulo de sacarose (GROF; CAMPBELL, 2001; MOORE, 2005). A baixa temperatura e a seca são fatores ambientais que afetam a fisiologia da cana-de-açúcar, ocorrendo nos meses de inverno um acúmulo significativo de sacarose no colmo. Estas condições causam a queda no crescimento da cana-de-açúcar e favorecem o acúmulo de sacarose nos vacúolos das células do parênquima (RAE et al., 2005).

**Figura 46.** Matriz de correlação do ciclo cana-planta (A) e 1ª cana-soca (B) entre os valores médios de TAH estimado e das trocas gasosas (fotossíntese líquida e condutância estomática).



Fonte: elaborado pelo autor.

As diferenças obtidas entre os ciclos, no índice de TAH e nos valores de correlação do TAH com as trocas gasosas, podem estar relacionadas com as variações ambientais ao longo dos períodos de cultivo da cana-de-açúcar, onde se observa uma possível relação com o aumento dos índices de precipitação no ciclo 1ª cana-soca durante o período de junho de 2016 a maio de 2017, podendo contribuir no processo de redução de acúmulo de sacarose.

Muraro et al. (2009) demonstra que o acúmulo de sacarose é influenciado pela disponibilidade hídrica, sendo seu excesso desfavorável, pois atua como fator diluente da sacarose que estava presente no colmo das plantas. Andrade (2006) afirma que o déficit hídrico ao final do ciclo é importante durante o processo de maturação para que haja repouso fisiológico e, conseqüentemente, maior acúmulo de sacarose nos colmos.

A ocorrência de precipitação pluviométrica no ciclo 1ª cana-soca, nos meses que antecederam a colheita pode ser um dos principais fatores que interferiram na qualidade tecnológica dessa cana-de-açúcar. Segundo Scarpari; Beauclair (2004), o processo de maturação fisiológica depende da redução sazonal da temperatura do ar e/ou disponibilidade hídrica, como forma de reduzir a taxa de crescimento vegetativo, sem afetar de forma significativa o processo da fotossíntese, de modo que haja maior quantidade de produtos fotossintetizados armazenados nos tecidos da planta.

Outra vertente para essa diferença pode ser pelo fato dos fotoassimilados produzidos pela fotossíntese estarem sendo translocados para conversão de amido no efeito reprodutivo da cana-de-açúcar, funcionando como dreno (BUCHANAN; GRUISSEM; JONES, 2015). Por regulação endógena e exógena quando a planta atinge uma maturação relativa de desenvolvimento, ela se prepara para reprodução e transforma o ápice de crescimento vegetativo para reprodutivo, iniciando o estágio de florescimento (SILVA et al., 2010). Para que ocorra o florescimento a cana-de-açúcar transloca o açúcar solúvel para produção das panículas ao invés de armazenar na forma de sacarose nos colmos (ARALDI et al., 2010).

A própria sacarose recém-sintetizada pela fotossíntese pode estar sendo convertida em amido. Quando há excesso de fotoassimilados nas folhas, por regulação de feedback fonte-dreno, ocorre a inibição do transporte da sacarose para o restante da planta. Esse acúmulo de sacarose pode resultar na conversão dos açúcares em amido a serem armazenados nas folhas das plantas (McCORNICK; CRAMER; WATT, 2006; 2008; TAIZ; ZEIGER, 2013).

## 6 CONCLUSÃO

O biossólido e a torta de filtro mostraram-se eficiente na composição de fertilizantes organominerais para adubação da cana-de-açúcar.

Os fertilizantes organominerais a base de biossólido e de torta de filtro favoreceram diretamente aos incrementos das atividades fotossintéticas da cana-de-açúcar e ainda proporcionaram um aumento na produtividade das variáveis químico-tecnológicas.

A variável de produtividade, total de açúcar produzido por hectare (TAH), apresentou correlação positiva significativa com as taxas de fotossíntese líquida e condutância estomática da cana-de-açúcar.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fertilizante organomineral formado pela matéria orgânica a base de lodo de esgoto, o biossólido, mostrou-se mais viável e eficiente para adubação da cana-de-açúcar, sendo necessária apenas metade da dosagem agrônômica recomendada à cultura para obter a mesma produtividade com a adubação convencional com fertilizantes minerais.

Além de propiciar a melhoria na produção agrícola, o uso dos fertilizantes organominerais apresenta um viés ambiental e econômico. O uso de resíduos urbanos, como o lodo de esgoto na produção de fertilizantes, impede que o mesmo seja descartado nos aterros sanitários atendendo a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010, que estabelece que esses resíduos devem ser tratados e reciclados.

A presença de nutrientes no lodo de esgoto, como os sais minerais nitrogênio, fósforo e cálcio, favorecem uma menor complementação de minerais para formulação dos fertilizantes organominerais reduzindo os custos financeiros com a importação de fertilizante minerais.

Recomenda-se o processo de peletização do fertilizante organomineral a base de biossólido, pois em forma de “pellets” reduz as perdas dos nutrientes comparados à adubação convencional e proporciona menor contaminação do lençol freático.

Como novas perspectivas de estudos, sugere-se uma avaliação da viabilidade financeira do biossólido como fertilizante organomineral para a produção de cana-de-açúcar na região do Triângulo Mineiro em Uberlândia-MG, analisando os custos de destinação final do lodo de esgoto para produção de fertilizante organomineral e os custos para o produtor utilizá-lo na adubação da cana-de-açúcar.



## REFERÊNCIAS

- ABISOLO Associação Brasileira de Tecnologia em Nutrição Vegetal. **3º Anuário Brasileiro de Tecnologia em Nutrição Vegetal**. 2017. Disponível em: <<http://abisolo.com.br/publicacoes>>. Acesso em: 27 Ago. 2017.
- AFAZ, D. C. de S.; BERTOLAZI, K. B.; VIANI, R. A. G.; SOUZA, C. F. Composto de lodo de esgoto para o cultivo inicial de eucalipto. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 12, n. 1, p.112-123, 2017.
- ALEXANDER, A. G. Physiological studies of enzymes catalyzing the synthesis and hydrolysis of sucrose, starch and phosphorylated hexose in sugar cane. **Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico**. Rio Pedras, v. 48, n. 3, p. 165-231, 1965. Disponível em: <<http://journals.upr.edu/index.php/jaupr/article/view/13009/10740>> Acesso em: 28 Ago. 2017.
- ALMEIDA JÚNIOR, A. B.; NASCIMENTO, C. W. A. do; SOBRAL, M. F.; SILVA, F. B.V. da; GOMES, W. A. Fertilidade do solo e absorção de nutrientes em cana-de-açúcar fertilizada com torta de filtro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.10, p.1004–1013, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011001000003>
- ALMEIDA JUNIOR, J. J.; SILVA FILHO, E. T.; MARTINS, A. C.; SMILJANIC, K. B. A.; MATOS, F. S. A.; FERREIRA, L. L. Influência da adubação mineral nas variáveis tecnológicas da cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). I Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar, Mineiros-GO, 06, 07 e 08 de junho, 2016.
- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F. de; BARROS, N. F. de; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5º Aproximação. Viçosa, MG, 1999. p. 25 - 32.
- ANDRADE, L. A. de B. **Cultura da cana-de-açúcar**. In: CARDOSO, M. das G. (Ed.). Produção de aguardente de cana-de-açúcar. 2. ed. rev. e ampl. Lavras: UFLA, 2006. p. 25-67.
- AQUINO, G. S. de; MEDINA, C. de C. Produtividade e índices biométricos e fisiológicos de cana-de-açúcar cultivada sob diferentes quantidades de palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 3, p.173-180, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000300003>
- AQUINO, A. F., BIDÔ, É. S., GALVÃO, M. L. M., OLIVEIRA, V. N. O etanol da cana de açúcar: possibilidades energéticas da região de Ceará-Mirim-RN. **Holos**, ano 30, v. 01, p.105-125, 2014.
- ARALDI, R.; SILVA, F. M. L.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Florescimento em cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v.40, n.3, p.694-702, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010005000033>
- ARANTES, M. T. **Potencial de cultivares de cana-de-açúcar sob os manejos irrigado e sequeiro**. 2012. 65f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, 2012.

BARBOSA, G. M. de, TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; FONSECA, I. C. B. Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade do milho safrinha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p. 601-605, 2007.

BARROS, I. T.; ANDREOLI, C. V.; SOUZA JUNIOR, I. G. de; COSTA, A. C. S. Avaliação agronômica de biossólidos tratados por diferentes métodos químicos para aplicação na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 6, p. 630 – 638, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000600014>

BENETT, C. G. S.; BUZETTI, S.; SILVA, K. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; PARIZ, C. M.; MAEDA, A. S.; GARCIA, C. M. de P. Qualidade e produtividade da cana planta e cana soca em função de doses e fontes de manganês. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 2, p. 198-205, 2012.

BENITES, V. N.; CORREA, J. C.; MENEZES, J. F. S.; POLIDORO, J. C. Produção de fertilizante organomineral granulado a partir de dejetos de suínos e aves no Brasil. In: FERTBIO, 2010. **Anais...** Guarapari: [s.n.], 2010, 4 p.

BERGONCI, J.I.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.A.; SANTOS, A.O. Potencial da água na folha como um indicador de déficit hídrico em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n. 8, p. 1531-1540, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000800005>

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A (ed.). **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. cap. 2, p. 25-36.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Lodo de esgoto: Impactos Ambientais na Agricultura**. Embrapa Meio ambiente. Jaguariúna, SP. 347p. 2006.

BIGATON, A., DANELON, A. F., TORRES, H. J. da S., XAVIER, C. E. O., MARQUES, P. V. Indicadores técnicos e custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol no Brasil: Fechamento de safra 2013/14. **Revista iPecege**, n.1, v. 1,p. 103-107, 2015

BORBA, M. M. Z.; BAZZO, A. M. Estudo econômico do ciclo produtivo da cana-de-açúcar para reforma de canavial, em área de fornecedor do Estado de São Paulo. 47º Congresso SOBER – Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Porto Alegre, 26 a 30 de julho, 2009.

BRASIL. **Lei 6.894, de 16 de dezembro de 1980**. Dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/PDF/lei\\_6894\\_80.pdf](http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/PDF/lei_6894_80.pdf)> Acesso em: 15 Jan. 2017.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional do Meio Ambiente. CONAMA, 2006. **Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006**. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Disponível em:<[www.mma.gov.br/port/conama/res](http://www.mma.gov.br/port/conama/res)> Acesso em: 10 Jan 2016.

\_\_\_\_\_. **Decreto 4.954, de 14 de janeiro de 2004.** Altera o Anexo ao Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 jan. 2004. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/d4954.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d4954.htm)> Acesso em: 15 Jan. 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA, 2009. **Instrução Normativa nº 25 de 23 de Julho de 2009.** Aprovam as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados a Agricultura. Disponível em: < <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta>> Acesso em: 10 Jan. 2016.

\_\_\_\_\_. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa 25, de 23 de julho de 2009.** Diário Oficial, Brasília, DF, 28 de junho de 2009. Seção 1, p. 20. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacoes>> Acesso em: 15 Jan. 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. **Sistema Nacional de Informações Saneamento:** Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto - 2016. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2018. 220 p.

\_\_\_\_\_. Ministério de Minas e Energia (MEE). **Programa RenovaBio. 2017.** Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-combustiveis-renovaveis/programas/renovabio/principal>> Acesso em: 11 Fev. 2018.

BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R.L. (eds). **Biochemistry and molecular biology of plants.** 2ª edition, New Jersey: John Wiley & Sons, 2015. 1280 p.

CAIONE, G.; LANGE, A.; BENETT, C. G. S; FERNANDES, F.M. Fontes de fósforo em variedades de cana-de-açúcar forrageira. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, n.1, p.66-73, 2011. <https://doi.org/10.5216/pat.v41i1.8497>

CAMARGO, O. A. Disposição de lodo de esgoto em solo agrícola: instrumental para o pensamento. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A (ed.). **Lodo de esgoto:** impactos ambientais na agricultura. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. cap. 3, p. 37- 44.

CAMARGO, R. de; MALDONADO, A. C. D.; DIAS, P. A. S.; SOUZA, M. F. S.; FRANÇA, M. S. Diagnose foliar em mudas de pinhão-mansão (*Jatropha Curcas* L.) produzidas com biossólido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.3, p.283–290, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000300006>

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Eds.). **Nitrogênio e Enxofre na Agricultura Brasileira.** Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2007. p. 349–412.

CARDOSO, E. L.; OLIVEIRA, H. **Sugestões de uso e manejo dos solos do assentamento Taquaral.** Corumbá: EMBRAPA PANTANAL, 2002. 4 p. (Circular Técnica, 35).

CETESB. **Aplicação de lodos sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas - critérios para projeto e operação: manual técnico.1999.** Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/servicos/normas/pdf/P4230.pdf>> Acesso em: 08 Out. 2017.

CHIBA, M. K.; MATTIAZZO, M. E.; OLIVEIRA, F. C. Cultivo de cana-de-açúcar em argissolo tratado com lodo de esgoto. II- fertilidade do solo e nutrição da planta. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 653-662, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000200019>

CHIBA, M. K.; MATTIAZZO, M. E.; OLIVEIRA, F. C. Rendimento de cana-de-açúcar cultivada em argissolo, utilizando lodo de esgoto como fonte de fósforo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 3, p. 495-501, 2009.

COLETI, J.T., CASAGRANDE, J.C.; STUPIELLO, J.J.; RIBEIRO, L.O.; OLIVEIRA, G.R. Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca em argissolos, variedades RB 835486 e SP 81-3250. **Anais do 8º Congresso Nacional da STAB**, p. 316-321. Pernambuco, 2006.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-açúcar**. Safra 2017/18, v.4, n. 2, Brasília: Conab, 2017. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 26 Ago. 2017.

CONSECANA. Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. **Manual de Instruções**. CONSECANA-SP, Piracicaba, 2006.

CORRÊA, R. S.; FONSECA, Y M. F.; CORRÊA A. S. Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.4, p. 420-426, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000400012>

CORTEZ, L. A. B. From the sugarcane ethanol sustainability that we have to the sugarcane ethanol sustainability that we should have. In: Center for Strategic Studies and Management (CGEE). **Sustainability of Sugarcane Bioenergy**. Brasília: Updated edition, 2012. cap.17, p. 351-359.

COSTA, C. T. S. **Crescimento, produtividade e viabilidade econômica de cana-de-açúcar, sob diferentes lâminas de irrigação, na região de Penápolis- SP**. 102 f. 2012. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

COSTA, L. M. DA; SILVA, M. F. DE O. A indústria química e o setor de fertilizantes. In: **BNDES 60 anos: perspectivas setoriais**. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2012. p. 12-60.

CRUZ, A. C.; PEREIRA, F. dos S.; FIGUEIREDO, V. S. Fertilizantes organominerais de resíduos do agronegócio: avaliação do potencial econômico brasileiro. **BNDES Setorial 45: Indústria química**, p. 137-187, 2017.

DAROS, E.; OLIVEIRA, R. A.; BARBOSA, G. V. de SOUZA (org.). **45 anos de variedades RB de cana-de-açúcar: 25 anos de Ridesa**. 1. ed. – Curitiba: Graciosa, 2015.

DELGADO, F.; SOUSA, M. E. de; ROITMAN, T. **Cadernos FGV Energia – Biocombustíveis**. Ano 4, n. 8, 2017.

DEON, M. D.; GOMES, T. M.; MELFI, A. J.; MONTES, C. R.; SILVA, E. Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.10, p.1149-1156, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010001000014>

EDWARDS, G., WALKER, D. **C3 C4: Mechanisms, and cellular and environmental Regulation, of Photosynthesis**. Oxford: Blackwell Scientific Publications.1983. [Pub Med Online].

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: RJ. Embrapa Solos, 2011, 230p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: RJ. Embrapa Solos, 2013. 350p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Análise de conjuntura dos biocombustíveis Ano 2016**. Ministério de Minas e Energia. 2017. Disponível em: <www.epe.gov.br> Acesso em: 24 Jan. 2018

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2ª edição. Londrina: Planta, 2006. 403 p.

ESTATCAMP. **Action Stat PRO® para Windows**. Versão 3.5.152.34 build 4. Versão do R: 3.3.2. Estatcamp Software, 2018.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar** - 3ª Edição, Piracicaba: STAB: Açúcar, Alcool e Subprodutos, 2011. 416 p.

FERNANDES, L.T.; SANTINATO, R.; DRUMOND, L. C. D.; OLIVEIRA, C. B. de. Avaliação do uso de fertilizantes organominerais e químicos na fertirrigação do caféiro irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.2, p.159-166, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000200005>

FERNANDES. F. Estabilização e higienização de biossólidos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. cap. 3, p. 45-67.

FIGUEIREDO, P. A. M. Particularidades a respeito do potássio. **STAB: Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 24, n. 6, p.25, 2006.

FRANCO, A.; ABREU JUNIOR, C. H.; PERECIN, D.; OLIVEIRA, F. C.; GRANJA, A. C. R.; BRAGA, V. S. Sewage sludge as nitrogen and phosphorus source for cane-plant and first ratoon crops. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 34, p. 553-561, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000200029>

FRAVET, P. R. F.; SOARES, R. A. B.; LANA, R. M. Q.; LANA, A. M. Q.; KORNDORFER, G. H. Efeito de doses de torta de filtro e modo de aplicação sobre a produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar. **Ciência e**

**Agrotecnologia**, v. 34, n. 3, p. 618-624, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000300013>

FREITAS, E. L.; COSTA, A. R. F. C. da; ROLIM, M.M.; SILVA, M.M. da; SILVA, E. F. F.; DANTAS, S. M.; CABRAL, E. F. avaliação de parâmetros biométricos da cana-de-açúcar em função de diferentes níveis de irrigação e adubação. **XIII Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão – JEPEX - UFRPE**: Recife, 09 a 13 de dezembro, 2013.

GARCIA, J. C.; MENDES, M. B.; BELUCI, L. R.; AZANIA, C. A. M.; SCARPARI, M. S. Fontes de fósforo mineral e organomineral no estado nutricional e no crescimento inicial da cana-de-açúcar. **Nucleus**, v.15, n.1, 2018.

GASCHO, G. J.; SHIH, S. F. Sugarcane. In: TEARE, I. D.; PEET, M. M. (eds). **Crop-water relations**. New York: Wiley Interscience, 1983. P. 445-479.

GHANNOUM, O.; CONROY, J. P.; DRISCOLL, S. P.; PAUL, M. J.; FOYER, C. H.; LAWLOR, D. W. Nonstomatal limitations are responsible for drought-induced photosynthetic inhibition in four C4 grasses. **New Phytologist**, v.159, p.599-608, 2003. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00835.x>

GONÇALVES JR., A. C.; SCHWANTES, D.; COELHO, G. F.; NACKE, H.; STREY, L.; MONTOVANI, P. A. B. Efeito da aplicação de biossólido na disponibilidade de nutrientes e metais pesados no milho. **Revista de Estudos Ambientais** (Online), v. 14, n. 3, p. 77-87, 2012.

GONÇALVES, E. R.; FERREIRA, V. M.; SILVA, J. V.; ENDRES, L.; BARBOSA, T. P.; DUARTE, W. de G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.4, p.378–386, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000400006>

GROF, C.P.L.; CAMPBELL, J.A. Sugarcane sucrose metabolism: scope for molecular manipulation. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 28, p. 1-12, 2001.

GURGEL, M. N. do A., CORREA, S. T. R.; DOURADO NETO, D.; DE PAULA JÚNIOR, D. R. Technology for sugarcane agroindustry waste reuse as granulated organomineral fertilizer. **Energia na Agricultura**, v. 35, n. 1, p. 63-75, 2015.

HANAUER, J. G. **Crescimento, desenvolvimento e produtividade em cultivo de cana-planta e cana-soca de um ano em Santa Maria, RS**. 2011. 81f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

HASSUANI, S. J.; LEAL, M. R. L.; MACEDO, I de C. **Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash**. Piracicaba: PNUD-CTC (Série Caminhos para Sustentabilidade), 2005. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/1c8f/cebf7aef193b4f9a0de509f9ed84d84bdf9a.pdf>> Acesso em: 15 Ago 2017.

HELDT, H. W. **Plant Biochemistry**. 3ª edition. California: Elsevier Academic Press, 2005. 595 p.



IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Clima**. Disponível em: [ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/climatologia/mapas/brasil/clima.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/climatologia/mapas/brasil/clima.pdf). Acesso em: 17 Abr. 2018

IGLESIAS, A. A.; ANDREO, C. S. Purification of NADP- Malic Enzyme and Phosphoenolpyruvate Carboxylase from sugar cane leaves. **Plant and Cell Physiology**, v. 30, n. 3, p. 399–405, 1989.

JADOSKI, C. J.; TOPPA, E. V. B.; JULIANETTI, A.; HULSHOF, T.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Fisiologia do desenvolvimento do estágio vegetativo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 3, n. 2, p. 169-175, 2011.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Orgânicos**. Piracicaba: Ceres, 1985. 492 p.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes organominerais**. 4 ed. Piracicaba: Degaspari, 2008, 160 p.

KORNDÖRFER, G. H. A importância da adubação na qualidade da cana-de-açúcar. In SÁ, M. E. de; BUZZETI, S. (Coord.). **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Ícone, 1994. cap. 7, p. 133-142.

KORNDÖRFER, G. H. **Avaliação agronômica com cana soca variedade IAC 91 1099 UFU, Minas Gerais**. Geociclo Biotecnologia - Testes científicos de performance, 2012. Disponível em: [http://www.geociclo.com.br/wp-content/uploads/2012/07/lamina-geofert\\_cana.pdf](http://www.geociclo.com.br/wp-content/uploads/2012/07/lamina-geofert_cana.pdf) Acesso em: 18 Mar. 2018.

LAFORET, M. R. C. **A transferência de tecnologia de processos de produção de fertilizantes organominerais: pesquisa-ação sobre uma parceria público-privada**. 184 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Propriedade Intelectual, Inovação e Desenvolvimento) – Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), Rio de Janeiro, 2013.

LANDELL, M.G. A.; BRESSIANI, J.A. Melhoramento genético, caracterização e manejo varietal. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Eds.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. p. 101-155.

LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P.; SILVA, M. A.; VASCONCELOS, A. C. M.; BIDÓIA, M. A. P.; XAVIER, M.A.; DINARDO-MIRANDA, L. L.; PRADO, H; ROSSETO, R.; SANTOS, A. S.; CAVICHIOLI, J. C.; MARTINS, A. L. M.; KANTHACK, R. A. D.; GALLO, P. B.; VEIGA FILHO, A. A.; SILVA, D. N. **Variedades de cana-de-açúcar para o Centro-Sul do Brasil**. Campinas, IAC. 33p. (Boletim Técnico, 195), 2004.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2004. 531 p.

LAVANHOLI, M. das G. D. P. Qualidade da cana-de-açúcar como matéria prima para produção de açúcar e álcool. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. de. LANDELL, M. G. A. de (Ed.) **Cana-de-açúcar**. 2 ed. Campinas: IAC, 2010. Cap. 32, p. 697-722.

LIMA, C. C. Disponibilidade de fósforo para a cana-de-açúcar em solo tratado com compostos orgânicos ricos em silício. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 12, p. 1222–1227, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011001200002>

LIMA, W. P.; JARVIS, P.; RHIZOPOULOU, S. Stomatal responses of *Eucalyptus* species to elevated CO<sub>2</sub> concentration and drought stress. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 2, p. 231-238, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162003000200005>

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Tradução e adaptação de Alfredo Scheid Lopes. 2 ed., rev. e ampl. Piracicaba: POTAFOS, 1998. 177 p.

LUZ, J. M.Q.; OLIVEIRA, G.; QUEIROZ, A.A.; CARREON, R. Aplicação foliar de fertilizantes organominerais em cultura de alface. **Horticultura Brasileira**, v.28, p. 373-377, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362010000300023>

MACÊDO, G. A. R.; COSTA, É. L., VIANA, M. C. M., FERREIRA, J. J.; PIRES, J. F.; FREIRE, F. M. Características agrônômicas e químicas das variedades de cana-de-açúcar RB83-5486 e RB86-7515 sob irrigação e sequeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.6, p. 599-603, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000600002>

MACHADO, D. F. S. P. **Fotossíntese e metabolismo de carboidratos em plantas jovens de cana-de-açúcar sob baixa temperatura e deficiência hídrica**. 2013. 75 p. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical) Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, 2013.

MACHADO, D. F. S. P., LAGÔA, A. M. M. A., RIBEIRO, R. V., MARCHIORI, P. E. R., MACHADO, R. S., MACHADO, E. C. Low night temperature and water deficit on photosynthesis of sugarcane. **Pesquisa & Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 487-495, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000500004>

MANHÃES, C. M. C., GARCIA, R. F., FRANCELINO, F. M. A., FRANCELINO, H. O., COELHO, F.C. Fatores que afetam a brotação e o perfilhamento da cana-de-açúcar. **Vértices**, v. 17, n. 1, p. 163-181, 2015. <https://doi.org/10.5935/1809-2667.20150011>

MARAFON, A. C. **Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prática**. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros). Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012. 29 p. Disponível em [http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes\\_2012/doc\\_168.pdf](http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2012/doc_168.pdf). Acesso em: 20 maio 2018.

MARCHIORI, P. E. R. **Variação da fotossíntese no dossel de variedades de cana-de-açúcar**. 2010. 70 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Produção Agrícola), Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, 2010.

MARIN, F. R.; JONES, J. W. Process-based simple model for simulating sugarcane growth and production **Scientia Agricola**, v. 71, n. 1, p. 1-16, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162014000100001>

MARQUES, M. O.; BELLINGIER, P. A.; MARQUES, T. A.; NOGUEIRA, T. A. R. Qualidade e produtividade da cana-de-açúcar cultivada em solo com doses crescentes de lodo de esgoto. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 2, p. 111-122, 2007.

MARQUES, M. O.; MARQUES, T. A.; TASSO JÚNIOR, L. C. **Tecnologia do açúcar: produção e industrialização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 2001. 166p.

MATOS, A. T. Potencialidades do uso agrícola de lodo de esgoto no Brasil. Palestra. **29º Congresso ABES FENASAN: o maior encontro de saneamento ambiental das Américas**, 2 a



6 de outubro, São Paulo-SP, 2017. Disponível em: <http://abes-dn.org.br/ctabes/wp-content/uploads/2018/Palestra%20Matos-min.pdf>. Acesso em: 23 Jan. 2018

McCORMICK, A. J., CRAMER, M. D., WATT, D. A. Regulation of photosynthesis by sugars in sugarcane leaves. **Journal Plant Physiology**, v. 165, p. 1817–1829, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2008.01.008>

McCORMICK, A. J., CRAMER, M. D., WATT, D.A. Sink strength regulates photosynthesis in sugarcane. **New Phytologist**, v. 171, p. 759–770, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01785.x>

McCORMICK, A. J., WATT, D. A., CRAMER, M. D.,. Supply and demand: sink regulation of sugar accumulation in sugarcane. **Journal Experimental Botany**, v. 60, p. 357–364, 2009. <https://doi.org/10.1093/jxb/ern310>

MIKI, M. K.; ANDRIGUETI, E. J.; ALEM SOBRINHO, P. Tratamento da fase sólida em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA, M. T. (ed). **Biosólidos na agricultura**. 2 edição. São Paulo: SABESP, 2001. cap. 2, 41-87.

MOORE, P.H. Integration of sucrose accumulation processes across hierarchical scales: towards developing an understanding of the gene-to-crop continuum. **Fields Crops Research**, v.92, p. 119-135, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.01.031>

MORAES, E. R. de. Aplicação de fertilizante organomineral de lodo de esgoto e bioestimulante na cana-de-açúcar. 2017. 84 f. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Federal de Uberlândia, UFU, Uberlândia, 2017.

MORAIS, K. P.; MEDEIROS, S. L. P.; ANJOS e SILVA, S. D. dos; BIONDO, J. C.; BOELTER, J. H.; DIAS, F. S. Produtividade de colmos em clones de cana-de-açúcar. *Revista Ceres*, v. 64, n.3, p. 291-297, 2017. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201764030010>

MURARO, G.B.; JÚNIOR, P.R.; OLIVEIRA, V.C.; GRANZOTTO, P.M.C.; SCHOGOR, A.L.B. Efeito da idade de corte sobre a composição bromatológica e as características da silagem de cana-de-açúcar plantada em dois espaçamentos e três idades de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 8, p. 1525-1531, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000800017>

NASCIMENTO, A. L.; SAMPAIO, R.A.; FERNANDES, L.A.; ZUBA JUNIO, G. R.; CARNEIRO, J. P.; RODRIGUES, M. N.; ALBUQUERQUE, H. C de. Yield and nutrition of sunflower fertilized with sewage sludge stabilized by different processes. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n.5, p. 683-689, 2013.

NEBRA. North East Biosolids and Residuals Association. **A national biosolids. regulation, quality, end use and disposal survey, final report**. 2017. Disponível em: <<https://www.nebiosolids.org/about-biosolids>> Acesso em: 23 Jan. 2018.

NOBILE, F. O. de; GALBIATTI, J.A.; MURAISHI, R. I.; ARAUJO, J. R. Variáveis biométricas da cana-de-açúcar fertilizada com resíduos orgânico e industrial e irrigada com água servida e potável. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n.1, p. 193-200, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000100019>

NOGUEIRA, M. A. F. de S.; GARCIA, M. da S. Gestão dos resíduos do setor industrial sucroenergético: estudo de caso de uma usina no município de Rio Brillhante, Mato Grosso do Sul. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 17, n. 17, p. 3275 – 3283, 2013.

NOGUEIRA, T. A. R.; FRANCO, A. F.; HE, Z.; BRAGA, V. S.; FIRME, L. P. ABREU-JUNIOR, C. H. Short-term usage of sewage sludge as organic fertilizer to sugarcane in a tropical soil bears little threat of heavy metal contamination. **Journal of Environmental Management**, v. 114, p. 168-177, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.09.012>

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F., et al. (eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap. 8, p. 472-537.

OLIVEIRA, A. A. de; BRAGA, M. B.; SANTOS, B. L. S.; WALKER, A. M. Biometria de cultivares de cana-de-açúcar sob diferentes reposições hídricas no Vale do Submédio São Francisco. **Energia na Agricultura**, v.31, n. 1, p.48-58, 2016.

OLIVEIRA, A. R. de; BRAGA, M. B.; SANTOS, B. L. S.; WALKER, A. M. Biometria de cultivares de cana-de-açúcar sob diferentes reposições hídricas no Vale do Submédio São Francisco. **Energia na Agricultura**, v. 31, n. 1, p. 48-58, 2016.

OLIVEIRA, D. P; CAMARGO, R. de; LEMES, E. M.; LANA, R. Q. L; MATOS, A. L. A.; MAGELA, M. L. M. Organic matter sources in the composition of pelletized organomineral fertilizers used in sorghum crops. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 32, p. 2574-2581, 2017. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11476>

OLIVEIRA, E. C. A.; OLIVEIRA, R. I.; ANDRADE, B. M. T.; FREIRE, F. J.; JÚNIOR, M. A. L.; MACHADO P. R. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 14, n. 9, p. 951-960, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000900007>

OLIVEIRA, F. M.; AGUILAR, P. B.; TEIXEIRA, M. F. F.; ASPIAZU, I.; MONÇÃO, F. P.; ANTUNES, A. P. S. Características agrotecnológicas de cana-de-açúcar em diferentes épocas de supressão de irrigação e níveis de adubação. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 3, p. 1587-1606, 2014. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n3p1587>

OLIVEIRA, M. W.; BARBOSA, M. H. P.; MENDES, L. C.; DAMASCENO, C. M. Nutrientes na palhada de dez cultivares de cana-de-açúcar. **STAB: Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 21, n. 3, p.6-7, 2002.

OLIVEIRA, M. W.; FREIRE, F. M.; MACÊDO, G. A. R.; FERREIRA, J. J. Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar. **Informe Agropecuário**, v. 28, n. 239, p. 30-43, 2007.

OLIVEIRA, R. A.; DONAS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; KOECHER, H. S.; SILVA, D. K. T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar no Estado do Paraná: Taxas de crescimento. **Scientia Agrária**, v.6, p.85-89, 2005. <https://doi.org/10.5380/rsa.v6i1.4599>

OLIVEIRA, R. C. de; SILVA, F. B. da; TEIXEIRA, M. B.; COSTA, A. C.; SOARES, F. A. L.; MEGGUER, C. A. Response of sugar cane to limitation hydric and nitrogen dose. **African**

**Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 17, p. 1475-1485, 2016.  
<https://doi.org/10.5897/AJAR2015.10698>

ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A.A.; BELTRAME, J.A.; LAVORENTI, N.A. Doses, fontes e formas de aplicação de nitrogênio em cana-de-açúcar. **STAB**, v.17, p.39-41, 1999.

ORTOLANI FILHO, J. **Nutrição e adubação de cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: Instituto do Açúcar e Alcool/PLANALSUCAR, 1983. 368 p.

PIRES, A. M. M. **Uso agrícola do lodo de esgoto: aspectos legais**. Embrapa. Jaguariúna, 2006. 4 p.

PIRES, A. M. M.; MATTIAZZO, M. E. **Avaliação da Viabilidade do Uso de Resíduos na Agricultura**. Circular Técnica 19. Jaguariúna, SP. 2008. Disponível em: <[http://www.cnpma.embrapa.br/download/circular\\_19.pdf](http://www.cnpma.embrapa.br/download/circular_19.pdf)>. Acesso em: 17 Abr. 2017.

RAE, A.L.; GROF, C.P.L.; CASU, R.E.; BONNETT, G.D. Sucrose accumulation in the sugarcane stem: pathways and control points for transport and compartmentation. **Field Crops Research**, v. 92, p. 159-168, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.01.027>

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

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**, v.12, n. 1, p.20-27, 2017. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11024>

RAO, X.; DIXON, R. A. The Differences between NAD-ME and NADP-ME subtypes of C<sub>4</sub> photosynthesis: more than decarboxylating enzymes. **Frontiers in Plant Science** [Pub Med Online], v. 7, p 1525-1542, 2016. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01525>

RAVEN, P. H.; EICHHORN, S. E.; EVERT, R. F. **Biologia vegetal**. 8ª edição, Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. 856 p.

RESENDE JÚNIOR, J. C. de; CAMARGO, de R.; LANA, R. M. Q.; FILHO, A. A.; MATOS, A. L. A. The effects of sewage sludge, mineral and organic fertilizers on initial growth of *Urochloa brizantha* cv Marandu (Hochst. ex A. Rich.). **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 36, p. 3460-3470, 2016. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11477>

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: Barros & Marques Ed. Eletrônica, 2004. 302 p.

RODRIGUES, E. T. Resposta de cultivares de alface ao composto orgânico. **Horticultura Brasileira**. Brasília, v. 12, n.2, p. 260-262, 1994.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D. **Adubação: resíduos alternativos**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2007. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/canadeaçucar/arvore/CONTAG01\\_39\\_711200516717.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/canadeaçucar/arvore/CONTAG01_39_711200516717.html)> Acesso em: 30 Mai. 2017.

ROSSOL, C. D.; SCALON FILHO, H.; BERTÉ, L. N.; JANDREY, P. E.; SCHWANTES, D.; GONÇALVES JR., A. C. Caracterização, classificação e destinação de resíduos da agricultura. **Scientia Agrária**, v. 11, n. 4, p.33-43, 2012.

SAGE, R. F.; PEARCY, R. W. The physiological ecology of C<sub>4</sub> photosynthesis. In: LEEGOOD, R. C.; SHARKEY, T. D.; VON CAEMMERS, S. (eds). **Photosynthesis: physiology and metabolism**. Academic Publishers: Netherlands, 2000. p. 497-532. [https://doi.org/10.1007/0-306-48137-5\\_21](https://doi.org/10.1007/0-306-48137-5_21)

SALES, C. R. G., RIBEIRO, R. V., MACHADO, D. F. S. P., MACHADO, R. S., DOVIS, V. L., LAGOA, A. M. M. A. Gas exchange and carbohydrate balance in sugarcane plants under root stressful conditions. **Bragantia**, v. 71, p. 319–327, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052012000300001>

SALES, C. R. G., RIBEIRO, R. V., SILVEIRA, J. A. G., MACHADO, E. C., MARTINS, M. O., LAGOA, A. M. M. A. Superoxide dismutase and ascorbate peroxidase improve therecovery of photosynthesis in sugarcane plants subjected to water deficit and low substrate temperature. **Plant Physiology Biochemistry**, v. 73, p. 326–336, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.10.012>

SANTANA, M. S.; OLIVEIRA, F. J.; MELO, L. J. O T. Correlações genéticas em alguns clones RB e em variedades de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 4, p. 460-467, 2010. <https://doi.org/10.5039/agraria.v5i4a615>

SANTOS, D. H.; SILVA, M. 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**, v. 15, n. 5, p. 443 – 449, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000500002>

SANTOS, D. H.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; FABRIS, L. B. Produtividade de cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, n. 4, p. 454 – 461, 2010. <https://doi.org/10.5216/pat.v40i4.7272> <https://doi.org/10.1590/S1983-40632010000400002>

SANTOS, E. T., HEINRICHS R, FIGUEIREDO, P. A. M., PASCHOALOTO, J. R., FRUCHI, V. M, LISBOA, L. A. M. **Atributos químicos do solo e estado nutricional da cana-de-açúcar submetida à adubação orgânica e mineral**. 2009. Disponível em: [http://www.dracena.unesp.br/#!/eventos/sicud\\_2009/anais\\_agronomia.php](http://www.dracena.unesp.br/#!/eventos/sicud_2009/anais_agronomia.php). Acesso em: 13 Maio. 2017.

SCARPARI, M. S.; BEAUCLAIR, E. G. F. Sugarcane maturity estimation through edaphic-climatic parameters. **Scientia Agrícola**, v. 61, n. 5, p. 486-491, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162004000500004>

SCARPARI, M.S., De BEAUCLAIR, E.G.F. Anatomia e botânica. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p.47-56.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E. (Eds.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. 1. ed. Piracicaba: Livrocere, 2006. p. 19-36.

SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E.; ABREU JUNIOR, C. H.; BERTON, R. S.; BASSO, L. C.; BARBIERI, V. Impactos da aplicação de lodo de esgoto na cultura da cana-de-açúcar e no ambiente. **Holos Environment**, v. 10, n. 1, p. 62-82, 2010. <https://doi.org/10.14295/holos.v10i1.4233>

SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; SHARMA, R.D. Alternativa agronômica para o biossólido produzido no Distrito Federal. Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em Latossolo no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 487-495, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000200023>

SILVA, M.A.; SANTOS, C.M.; ARANTES, M.T.; PINCELLI, R.P. 2010. Fenologia da cana-de-açúcar. In: **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar**. CRUSCIOL, C.A.C et al. (Eds.). Botucatu: FEPAF. p.8-21.

SIMÕES, W. L.; CALGARO, M.; COELHO, D.S.; SOUZA, A. de; LIMA, J. A. Respostas de variáveis fisiológicas e tecnológicas da cana-de-açúcar a diferentes sistemas de irrigação. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 1, p. 11-20, 2015. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902015000100002>

SINGELS, A.; SMIT, M.A.; REDSHAW, K.A.; DONALDSON, R.A. The effect of crop start date, crop class and cultivar on sugarcane canopy development and radiation interception. **Field Crops Research**, v. 92, p. 249-260, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.01.028>

SOUSA, R. T. X. de S. **Fertilizante organomineral para a produção de cana-de-açúcar**. 2014. 87 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

SOUSA, R. T. X. de; DUARTE, I. N.; KORNDÖRFER, G. H. E.; HENRIQUE, H. M. Fontes mineral e orgânica de fósforo e a disponibilidade desse nutriente para o solo. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, v. 9, n. 16, p. 32-40, 2013.

SOUZA, A. P. **A cana-de-açúcar e as mudanças climáticas: efeitos de uma atmosfera enriquecida em CO<sub>2</sub> sobre o crescimento, desenvolvimento e metabolismo de carboidratos de *Saccharum* spp.** 2007. 85f. Dissertação (Mestrado em Biologia Celular e Estrutural) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

SUGAWARA, L.M.; RUDORFF, B. F. T. **Acompanhamento do crescimento vegetativo da cana-de-açúcar por meio de séries temporais de NDVI do sensor modis**. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Curitiba, 2011.

SYSTAT. **Systat® for Windows® version 10.2** [S.l.]: © Systat Software. 2002

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5ª edição. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

TASSO JÚNIOR, L. C.; MARQUES, M. O.; FRANCO, A.; NOGUEIRA, G. de A.; NOBILE, F. O. de; CAMILOTTI, F.; SILVA, A. R. da. Produtividade e qualidade de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 276–283, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162007000100022>

TAVARES, A. C. S. **Sensibilidade da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) ao excesso de água no solo**. 2009. 220f. Tese (Doutorado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, ESALQ, Piracicaba, 2009.

TAVARES, O.C.H.; LIMA, E.; ZONTA, E. Crescimento e produtividade da cana-planta cultivada em diferentes sistemas de preparo do solo e de colheita. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.32, p.61-68, 2010. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i1.2051>

TEIXEIRA, E. B.; BOLONHEZI, A. C.; FERNANDES, F. M.; RIBEIRO, N. A.; QUEIROZ, C. J. Características tecnológicas do caldo de variedades de cana-de-açúcar cultivadas em solo de cerrado com diferentes níveis de adubação fosfatada. **Científica**, v.44, n.1, p.23-34, 2016. <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2016v44n1p23-34>

TEIXEIRA, W.G; SOUSA, R.T.X., KORNDÖRFER, G. H. Resposta da cana-de-açúcar a doses de fósforo fornecidas por fertilizante organomineral. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 6, p. 1729-1736, 2014.

TOPPA, E. V. B.; JADOSKI, C. J.; JULIANETTI, A.; HULSHOF, T.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Aspectos da fisiologia de produção da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 3, n. 3, p.215-221, 2010.

VASQUEZ, G. H.; BORTOLIN, R.; VANZELA, L. S.; BONINI, C dos S. B.; BONINI NETO, A. Uso de fertilizante organofosfatado e torta de filtro em cana-planta Brazilian **Journal of Biosystems Engineering**, v. 9, n.1, p. 53-64, 2015

VITTI, A. C. TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. C.; PENATTI, C. P.; BOLOGNA, I. R.; FARONI, C. E.; FRANCO, H. C. J. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 2, p. 249-256, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000200014>

VON SPERLING, M.; ANDREOLI, C. V. Introdução. In: ANDREOLI, C.V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Org.) **Lodos de esgoto: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG. Curitiba: SANEPAR, 2001. 484p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 6).

WANG, J. ZHAO, T., YANG, B., ZHANG, S. Sucrose metabolism and regulation in sugarcane. **Journal of Plant Physiology & Pathology**, n. 5, v. 4, p.1-6, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2017.04.005>

WATER ENVIRONMENT FEDERATION – WEF. **Developing source control programs for commercial and industrial wastewater**. Alexandria, VA: Water Environment Federation, 1996. 382 p. (Manual of practice, OM-4).

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. New Jersey, Prentice Hall, 1984. 718p.