



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**EFICIÊNCIA DE BIOFERTILIZANTE ORIUNDO DA
METANOGÊNESE NA CANA ENERGIA**

LEONARDO RODRIGUES BARROS

Orientador:
Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro

Fevereiro – 2020

**UFG**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE
TESES****E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

[] Dissertação [x] Tese

2. Nome completo do autor

LEONARDO RODRIGUES BARROS

3. Título do trabalho

EFICIÊNCIA DE BIOFERTILIZANTE ORIUNDO DA METANOGENÊSE NA CANA ENERGIA

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)Concorda com a liberação total do documento [x] SIM [] NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **LEONARDO RODRIGUES BARROS, Discente**, em 21/08/2020, às 21:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

Documento assinado eletronicamente por **Wilson Mozena Leandro, Professor do Magistério Superior**, em 22/08/2020, às 13:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

15/10/2020

SEI/UFG - 1503386 - Termo de Ciência e de Autorização (TECA)



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site
https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1503386** e o código CRC **438946FC**.

Referência: Processo nº 23070.002432/2020-89

SEI nº 1503386

LEONARDO RODRIGUES BARROS

**EFICIÊNCIA DE BIOFERTILIZANTE ORIUNDO DA
METANOGÊNESE NA CANA ENERGIA**

Tese apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Agronomia da Universidade
Federal de Goiás, como requisito parcial à
obtenção do título de Doutor em Agronomia.
Área de concentração: Solo e Água.

Orientador:
Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro

Coorientador:
Prof. Dr. Rilner Alves Flores

Goiânia, GO – Brasil
2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Barros, Leonardo Rodrigues
EFICIENCIA DE BIOFERTILIZANTE ORIUNDO DA
METANOGENESE NA CANA ENERGIA [manuscrito] / Leonardo
Rodrigues Barros. - 2020.
LXXXV, 85 f.

Orientador: Prof. Wilson Mozena Leandro ; co-orientador Rilner
Alves Flores .

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de
Agronomia (EA), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Goiânia,
2020.

Bibliografia.

Inclui lista de figuras, lista de tabelas.

1. Saccharum spontaneum. 2. Produtividade. 3. Biodigestato. 4.
Adubação. I. , Wilson Mozena Leandro, orient. II. Título.

CDU 631/635



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA
ATA DE DEFESA DE TESE

ATA Nº 12 DA SESSÃO DE DEFESA DE TESE DE LEONARDO RODRIGUES BARROS, QUE CONFERE O TÍTULO DE DOUTOR EM AGRONOMIA, NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM SOLO E ÁGUA.

Aos vinte e um dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte (21.02.2020), às 08h00min, no auditório do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFG, foram instalados os trabalhos pelo orientador e presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro - EA/UFG, com a participação dos demais membros: Prof^a. Dr^a. Eliana Paula Fernandes Brasil - EA/UFG, Prof^a. Dr^a. Vladia Correchel - EA/UFG, Prof^a. Dr^a. Adriana Aparecida Ribon - UEG/Palmeiras de Goiás (participação via Skype) e Prof. Dr. Joachim Werner Zang - IFGoiás/Goiânia, para a realização da sessão pública da defesa de Tese intitulada: "**EFICIÊNCIA DE BIOFERTILIZANTE ORIUNDO DA METANOGENÊSE NA CANA ENERGIA**", de autoria de **LEONARDO RODRIGUES BARROS**, discente do curso de **DOUTORADO**, na área de concentração em **SOLO E ÁGUA**, do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFG. O presidente da sessão apresentou formalmente os membros da Banca Examinadora e em seguida passou a palavra ao doutorando que em quarenta minutos apresentou o seu trabalho. Após a exposição, o candidato foi arguido pelos membros da banca. Terminada a fase de arguição, procedeu-se à avaliação da defesa. De acordo com Resolução CEPEC 1403/2016, de 10 de junho de 2016 que regulamenta os Programas de Pós- Graduação *Stricto Sensu* na UFG, a Banca Examinadora considerou a Tese "**APROVADA**", com as correções recomendadas, estando integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **DOUTOR** em Agronomia, na área de concentração em **SOLO E ÁGUA**, pela Universidade Federal de Goiás. O doutorando poderá efetuar as modificações sugeridas pela Banca Examinadora e encaminhar nova versão eletrônica da tese à Secretaria do PPGA, no prazo máximo de trinta dias após a data da defesa. A Banca Examinadora recomendou a publicação de artigo(s) científico(s), oriundo(s) dessa tese, em periódicos de circulação nacional e, ou, internacional, depois de acatadas as modificações sugeridas. Proclamados os resultados pelo Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos membros da Banca Examinadora, aos vinte e um dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte (21.02.2020).

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Joachim Werner Zang, Usuário Externo**, em 28/02/2020, às 11:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Wilson Mozena Leandro, Professor**

do **Magistério Superior**, em 28/02/2020, às 13:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Vladia Correchel, Professor do Magistério Superior**, em 28/02/2020, às 16:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Adriana Aparecida Ribon, Usuário Externo**, em 28/02/2020, às 16:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eliana Paula Fernandes Brasil, Professor do Magistério Superior**, em 28/02/2020, às 16:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_exte_rno.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1185528** e o código CRC **3B0D3F41**.

A DEUS, por me proporcionar uma vida maravilhosa, na qual posso compartilhar com o próximo.

A meus pais Filemon Vieira Barros e Sirlene Maria Rodrigues por me apoiarem em toda minha trajetória de vida.

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por toda graça e proteção que ele tem me proporcionado.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro, pelo apoio, paciência e amizade construída, e pelo acompanhamento na definição do meu trabalho, pelas sugestões e correções de forma séria que somente acrescentaram em meu aprendizado.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Rilner Alves Flores, pela amizade e contribuições para a concretização deste trabalho.

A Ana Maria Bezerra do Nascimento, pela a sua amizade, companheirismo, e por acreditar na minha capacidade, sempre me deu coragem para seguir na caminhada.

A Universidade Federal de Goiás e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade de crescimento profissional.

Aos meus pais Filemon Vieira Barros e Sirlene Maria Rodrigues, por depositarem, suas esperanças, sonhos e expectativas em mim.

Aos professores da Escola de Agronomia por compartilharem seus conhecimentos, experiências.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento da bolsa de estudo.

Ao secretário da pós-graduação Welinton Barbosa Mota pelo apoio e amizade.

A todos os servidores da Universidade Federal de Goiás em especial: Zé Luís, Ionice, Nara Rúbia, Carolina, Ana Maria que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Agradeço!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE FIGURAS	14
RESUMO	18
ABSTRACT	19
1 INTRODUÇÃO	20
2 REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1 CANA ENERGIA.....	22
2.2 BIOMASSA.....	24
2.3 VINHAÇA.....	25
2.4 BIODIGESTÃO.....	27
2.5 BIOFERTILIZANTE....	28
3 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	29
3.2 IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	29
3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....	30
3.4 AVALIAÇÕES DE ALTURA DE PLANTAS, DIÂMETRO DO COLMO E NÚMERO DE PERFILHOS.....	31
3.5 AVALIAÇÕES FISIOLÓGICAS.....	32
3.6 PRODUTIVIDADE DE COLMOS E BIOMASSA TOTAL.....	32
3.7 AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO E FOLIAR.....	32
3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1 CANA PLANTA.....	34
4.1.1 ALTURA DE PLANTAS, DIÂMETRO DO COLMO E NÚMERO DE PERFILHOS.....	34
4.1.2 PRODUÇÃO DE BIOMASSA TOTAL SECA, VERDE E PRODUTIVIDADE DE COLMOS.....	40
4.1.3 TRANSPIRAÇÃO, CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA, FOTOSSÍNTESE E CONCENTRAÇÃO INTERNA DE CO ₂	46
4.1.4 DIAGNOSE FOLIAR.....	48
4.1.5 FERTILIDADE DO SOLO.....	51
4.2 CANA SOCA I.....	52
4.2.1 ALTURA DE PLANTAS, DIÂMETRO DO COLMO E NÚMERO DE PERFILHOS.....	52
4.2.2 PRODUÇÃO DE BIOMASSA TOTAL SECA, VERDE, PRODUTIVIDADE DE COLMOS E BRUX.....	57
4.2.3 FERTILIDADE DO SOLO.....	65

4.3	CANA SOCA II.....	66
4.3.1	ALTURA DE PLANTAS, DIÂMETRO DO COLMO E NÚMERO DE PERFILHOS.....	66
4.3.2	PRODUÇÃO DE BIOMASSA TOTAL VERDE E PRODUTIVIDADE DE COLMOS.....	71
4.3.3	DIAGNOSE FOLIAR.....	75
4.3.4	FERTILIDADE DO SOLO.....	77
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79
6	REFERÊNCIAS	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Atributos químicos do solo antes da instalação do experimento.....	30
Tabela 2.	Doses dos tratamentos para a instalação do experimento.....	31
Tabela 3.	Análise química do biofertilizante utilizado no experimento em casa de vegetação, Goiânia, Estado Goiás, Brasil, 2017.....	31
Tabela 4.	Análise de variância para altura, diâmetro, perfilhos, colmo, biomassa total verde, biomassa total seca e grau brix de cana energia em função do tipo de solo e dos tratamentos.....	34
Tabela 5.	Análise de variância para transpiração, condutância estomática, fotossíntese, concentração interna de CO ₂ e rendimento quântico máximo (Fv/Fm) de cana energia em função do tipo de solo e dos tratamentos.....	46
Tabela 6.	Análise de variância dos teores foliares: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) na cana energia em função do tipo de solo e dos tratamentos.....	49
Tabela 7.	Análise de variância dos atributos químicos do solo: matéria orgânica (MO), pH, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), capacidade de troca de cátions (CTC) saturação por bases (V%) na cana energia em função do tipo de solo e dos tratamentos.....	51
Tabela 8.	Análise de variância para altura, diâmetro, perfilhos, colmo, biomassa total verde, biomassa total seca e grau brix de cana energia em função do tipo de solo e dos tratamentos.....	52
Tabela 9.	Análise de variância dos atributos químicos do solo: matéria orgânica (MO), pH, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), capacidade de troca de cátions (CTC) saturação por bases (V%) na cana energia em função do tipo de solo e dos tratamentos.....	66
Tabela 10.	Análise de variância para altura, diâmetro, perfilhos, colmo, biomassa total verde, de cana energia em função do tipo de solo e dos tratamentos.....	66
Tabela 11.	Análise de variância dos teores foliares: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) na cana energia em função do tipo de solo e dos tratamentos.....	75

Tabela 12. Análise de variância dos atributos químicos do solo: matéria orgânica (MO), pH, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), Capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%) na cana energia em função do tipo de solo e dos tratamentos.....	78
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Cortes transversais de colmos de diferentes variedades de cana.....	23
Figura 2.	Produtividade da cana de açúcar e cana energia em relação a quantidade de cortes.....	23
Figura 3.	Processos de conversão energética da biomassa.....	24
Figura 4.	Altura de plantas (cm) em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia planta cultivada em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico.....	35
Figura 5.	Altura de plantas (cm) em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia planta cultivada em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico.....	36
Figura 6.	Diâmetro do colmo (mm) em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia planta.....	37
Figura 7.	Número de perfilhos por vaso em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia planta cultivada em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico.....	38
Figura 8.	Número de perfilhos por vaso em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia planta cultivada em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico.....	39
Figura 9.	Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de Biomassa Total seca de cana energia planta em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico.....	40
Figura 10.	Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de Biomassa Total seca de cana energia planta em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico....	41
Figura 11.	Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de Biomassa Total verde de cana energia planta em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico.....	42
Figura 12.	Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de Biomassa Total verde de cana energia planta em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico..	43
Figura 13.	Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de colmos da cana energia planta em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico.....	44

Figura 14.	Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de colmos da cana energia planta em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico.....	45
Figura 15.	Efeito da aplicação de biofertilizante na transpiração (E) da cana energia planta.....	46
Figura 16.	Efeito da aplicação de biofertilizante na condutância estomática (Gs) da cana energia planta.....	47
Figura 17.	Efeito da aplicação de biofertilizante na Fotossíntese (A) da cana energia planta.....	48
Figura 18.	Teor de potássio (K) na folha em função da aplicação de biofertilizante na cana energia planta em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico.....	50
Figura 19.	Teor de potássio (K) na folha em função da aplicação de biofertilizante na cana energia planta em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico.....	51
Figura 20.	Altura de plantas (cm) em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia soca I.....	53
Figura 21.	Diâmetro do colmo (mm) em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia soca I cultivada em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico.....	54
Figura 22.	Diâmetro do colmo (mm) em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia soca I cultivada em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico.....	55
Figura 23.	Número de perfilhos por vaso em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia soca I cultivada em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico.....	56
Figura 24.	Número de perfilhos por vaso em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia soca I cultivada em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico.....	57
Figura 25.	Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de Biomassa Total seca de cana energia soca I em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico.....	58
Figura 26.	Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de Biomassa Total seca de cana energia soca I em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico.....	59

Figura 27.	Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de Biomassa Total verde de cana energia soca I em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico.....	60
Figura 28.	Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de Biomassa Total verde de cana energia soca I em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico...	61
Figura 29.	Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de colmos da cana energia soca I em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico.....	62
Figura 30.	Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de colmos da cana energia soca I em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico.....	63
Figura 31.	Teor de Brix do caldo em função da aplicação de biofertilizante na cana energia soca I em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico.....	64
Figura 32.	Teor de Brix do caldo em função da aplicação de biofertilizante na cana energia soca I em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico.....	65
Figura 33.	Altura de plantas (cm) em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia soca II cultivada em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico.....	67
Figura 34.	Altura de plantas (cm) em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia soca II cultivada em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico.....	68
Figura 35.	Diâmetro do colmo (mm) em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia soca II.....	69
Figura 36.	Número de perfilhos por vaso em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia soca II cultivada em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico.....	70
Figura 37.	Número de perfilhos por vaso em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia soca II cultivada em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico.....	70
Figura 38.	Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de colmos da cana energia soca II em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico.....	71
Figura 39.	Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de colmos da cana energia soca II em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico.....	72

Figura 40.	Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de Biomassa Total verde da cana energia soca II em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico.....	73
Figura 41.	Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de Biomassa Total verde de cana energia soca II em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico.	74
Figura 42.	Teor de potássio (K) na folha em função da aplicação de biofertilizante na cana energia soca II em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico.....	76
Figura 43.	Teor de potássio (K) na folha em função da aplicação de biofertilizante na cana energia soca II em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico.....	77

RESUMO

BARROS, L. R. **Eficiência de biofertilizante oriundo da metanogênese na cana energia.** 2020. 80 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Solo e Água) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, 2020¹.

O biofertilizante é um coproduto obtido por meio da fermentação anaeróbica de resíduos orgânicos. Apresenta-se, em geral, sob a forma líquida, tendo composição variável de nutrientes, principalmente nitrogênio, potássio e o fósforo. O estudo das variáveis agronômicas é imprescindível em culturas que receberam o biofertilizante visando o manejo adequado da cana energia. Assim, o objetivo foi avaliar o efeito da aplicação e residual de doses do biofertilizante oriundo da metanogênese na cana energia durante três anos de cultivo. O experimento foi realizado em casa de vegetação na UFG. Os solos utilizados foram: LATOSSOLO VERMELHO Ácrico (LVw) (490 g kg⁻¹ de argila) e LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico (LVAd) (160 g kg⁻¹ de argila). O delineamento foi em blocos casualizados, esquema fatorial (2x6), sendo 2 solos de texturas diferentes e 5 doses de biofertilizante (0; 150; 300; 600 e 1200 m³ ha⁻¹) e um tratamento NPK. O biofertilizante foi advindo da metanogênese da cana energia. Foram realizadas as análises biométricas (altura, diâmetro e número de perfilhos) para cana planta mensalmente somando um total de dez avaliações, para cana soca I e II foram 5 avaliações. A avaliação da fertilidade e de produtividade foi realizada ao final de cada ciclo, já as avaliações foliares na cana planta e soca II foram no período de 8 meses de desenvolvimento da cultura. As avaliações fisiológicas na cana planta foram realizadas aos 300 DAP. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e regressão polinomial. Para a variável perfilhos na cana energia planta nos LVAd e LVw notou-se que quanto maior a dose aplicada a planta apresentou maior número de perfilhos. Na biomassa total verde na cana planta no LVAd e LVw as doses de máxima eficiência foram 1083,69 e 811,28 m³ ha⁻¹. Os teores foliares de potássio na cana planta no LVw foram maiores nas doses de 600 e 1200 m³ ha⁻¹, apresentando as seguintes médias 8,27 e 9,19 g kg⁻¹. Foi observado um incremento linear na biomassa total seca na primeira soqueira no LVAd. Na segunda soqueira na avaliação da fertilidade do solo observou efeito significativo de tratamento apenas para matéria orgânica do solo. De modo geral, a aplicação de doses crescentes do biofertilizante melhora a produtividade da cana energia planta e soca I. As doses de biofertilizante na cana planta são significativamente responsivas para as variáveis fisiológicas: fotossíntese condutância estomática e transpiração. O efeito residual do biofertilizante na segunda soqueira de cana energia não afeta o desenvolvimento da cultura em altura e diâmetro e produção de colmos, entretanto aumenta o número de perfilhos'. A aplicação de biofertilizante aumenta o teor de potássio na planta, e reflete na produção de colmos da cana energia planta.

Palavras-chave: *Saccharum spontaneum*, produtividade, biodigestato, adubação.

¹ Orientador: Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro. EA-UFG.
Coorientador: Prof. Dr. Rilner Alves Flores. EA-UFG.

ABSTRACT

BARROS, L. R. **Efficiency of biofertilizer from methanogenesis in energy cane.** 2020. 80 f. Thesis (Doctorate in Agronomy: Soil and Water) – School of Agronomy, Federal University of Goiás, 2020².

Biofertilizer is a co-product obtained through the anaerobic fermentation of organic residues. It is presented, in general, in liquid form, having a variable composition of nutrients, mainly nitrogen, potassium and phosphorus. The study of agronomic variables is essential in crops that received the biofertilizer for the proper management of energy cane. Thus, the objective was to evaluate the effect of application and residual doses of biofertilizer from methanogenesis in energy cane during three years of cultivation. The experiment was carried out in a greenhouse at UFG. The soils used were: LATOSSOLO VERMELHO Ácrico (LVw) (490 g kg⁻¹ of clay) and LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico (LVAd) (160 g kg⁻¹ of clay). The design was in randomized blocks, factorial scheme (2x6), with 2 soils of different textures and 5 doses of biofertilizer (0; 150; 300; 600 and 1200 m³ ha⁻¹) and an NPK treatment. The biofertilizer came from the methanogenesis of energy cane. Biometric analyzes (height, diameter and number of tillers) were carried out for cane plant monthly adding up to a total of ten evaluations, for cane ratoon I and II there were 5 evaluations. The productivity and fertility evaluation were carried out at the end of each cycle, whereas the leaf evaluations in the cane plant and ratoon II were in the period of 8 months of development of the culture. The physiological evaluations in the plant cane were carried out at 300 DAP. The results obtained were submitted to analysis of variance by the F test, and polynomial regression. For the tiller variable in the plant energy cane in the LVAd and LVw, it was noted that the higher the dose applied, the plant had a higher number of tillers. In the total green biomass in the cane plant in the LVAd and LVw the maximum efficiency doses were 1083.69 and 811.28 m³ ha⁻¹. The leaf potassium contents in the cane plant in the LVw were higher at doses of 600 and 1200 m³ ha⁻¹, with the following averages 8.27 and 9.19 g kg⁻¹. A linear increase in total dry biomass was observed in the first ratoon in the LVAd. In the second ratoon evaluation of soil fertility, a significant effect of treatment was observed only for organic matter in the soil. In general, the application of increasing doses of biofertilizer improves the productivity of cane energy plant and ratoon. The doses of biofertilizer in plant cane are significantly responsive to physiological variables: photosynthesis, stomatal conductance and transpiration. The residual effect of the biofertilizer on the second cane energy ratoon does not affect the development of the crop in height and diameter and stalk production, however it increases the number of tillers. The biofertilizer application increases the potassium content in the plant, and reflects in the stalks production of the energy cane plant.

Key words: *Saccharum spontaneum*, productivity, biodigested, fertilized.

² Adviser: Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro. EA-UFG.
Co-adviser: Prof. Dr. Rilner Alves Flores. EA-UFG.

1 INTRODUÇÃO

A busca por novas fontes de energia renovável tem sido cada vez mais expressiva. O uso constante do petróleo e carvão trouxe como consequência um desequilíbrio das condições climáticas, devido à liberação dos gases do efeito estufa. Os gases do efeito estufa absorvem parte da radiação infravermelha e dificultam o escape da mesma, impedindo que ocorra uma perda de calor para o espaço. Embora seja um fenômeno natural e vital para a manutenção da vida terrestre, a liberação acelerada dos gases na atmosfera, decorrentes da utilização de fontes não renováveis de energia, tem potencializado o aumento da temperatura global (Okuno, 2016).

Nesse contexto, as pesquisas em torno de fontes alternativas de energia renovável com enfoque na biomassa são de fundamental importância, porém, que seja considerada a sua utilização em ciclos de transformação energética de alta eficiência, a fim de aproveitar ao máximo o potencial energético nela contido.

Com isso a cultura da cana de açúcar vem se destacando devido a sua alta produção de biomassa, além de ser uma cultura já consolidada no Brasil. Com base nos dados da Conab (2019) a produtividade média de cana de açúcar na safra 18/19 é 72,23 t ha⁻¹, sendo que para cada tonelada é gerado cerca de 140 kg de bagaço seco e 140 kg de palha (Santos et al., 2012). Apesar do alto potencial para biomassa o melhoramento genético dessa cultura visou aumento do teor de sacarose.

Portanto novos estudos estão direcionando o melhoramento para outra característica, a acumulação de fibra. E na busca por materiais com maior acúmulo de fibra surgem as plantas de cana energia com as seguintes características: canas mais rústicas, menos exigentes em solos, clima, água e nutrientes e mais resistentes ao ataque de pragas e doenças, resultando em mais energia produzida pela unidade de energia gasta (Matsuoka et al. 2012).

Com a expansão de área com cana de açúcar os resíduos provenientes do setor sucroenergético vem ganhando cada vez mais espaço no cenário atual. Com o crescimento do setor sucroenergético, e por ter um grande potencial de contribuir fortemente para a matriz energética brasileira, há um aumento dos resíduos gerados. A vinhaça é um dos principais

subprodutos resultante da produção de álcool, além de outros resíduos que são gerados na planta industrial que processa a cana de açúcar como a torta de filtro e o bagaço (Bonassa et al., 2015). Na maioria dos casos a vinhaça é usada apenas como fertilizante, porém a vinhaça pode ser submetida em um processo de biodigestão anaeróbia da que consiste na biodegradação de sua carga orgânica e este processo gera o biogás e um biofertilizante com reduzida carga orgânica sem, no entanto, alterar suas propriedades fertilizantes (Lamonica, 2006).

O biofertilizante proveniente da vinhaça contém nutrientes. Estes nutrientes, entretanto, trazem muitas vantagens ao resíduo, melhorando as condições de fertilidade do solo. Trata-se de um resíduo orgânico, isento de agentes causadores de doenças e pragas às plantas e contribui de forma significativa no reestabelecimento do teor de matéria orgânica do solo e melhora a atividade microbiana do solo. Nobile et al (2011) aplicando biofertilizante em cana de açúcar observaram respostas significativas em relação ao tratamento controle (sem aplicação). Xavier 2012 analisando o efeito da vinhaça in natura e biodigerida observou que em ambos os casos estes subprodutos conseguem substituir a adubação mineral potássica.

O estudo com cana energia é relevante em função da expansão de cultivos energéticos, e com isso investigações científicas que avaliam o impacto da aplicação do biofertilizante na cana energia em região do Cerrado são escassos. Portanto o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da aplicação e residual de doses do biofertilizante oriundo da metanogênese na cana energia durante três anos de cultivo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CANA ENERGIA

O conceito de cana energia surge em um contexto de busca por encontrar novas fontes de energia, sendo direcionada para a produção de biomassa. No Brasil, algumas instituições já começaram a investir em pesquisa e desenvolvimento de cruzamentos e tecnologias para a produção de cana-energia.

A cana energia foi desenvolvida para alto teor de fibras e baixa sacarose. A tonelagem média de cana energia é muito maior em comparação com a cana de açúcar, mas os níveis de brix são mais baixos. O ciclo da cultura da cana energia é um pouco mais longo do que cana de açúcar, o conteúdo de fibra é aproximadamente o dobro da cana energia em comparação com a cana de açúcar. A cana energia contém 53,6% de caldo e 26,7% fibra (base seca). Aproximadamente 9,8% de açúcares está presente no caldo e a maioria do açúcar é a sacarose (9,6%). A fibra é composta por 43,3% de celulose, 23,8% de hemicelulose e 21,7% de lignina (Kim & Day, 2011).

A vantagem da cana energia produzir mais fibras em vez de açúcar é que as plantas serão mais vigorosas e rústicas, o que traz uma série de vantagens econômicas e ambientais. As plantas serão menos exigentes no solo, clima, água e nutrientes, mais resistentes a pragas e doenças, e com maior capacidade competitiva contra ervas daninhas, resultando em maior eficiência em seu cultivo. A cana energia, portanto, poderá ser plantada em áreas de solo degradados, além de permitir um maior índice de multiplicação (1:30 ou mais, contra a taxa comum de 1:10 de variedades de cana de açúcar), proporcionando outra grande vantagem econômica (Carvalho Netto et al., 2014).

As principais características da cana energia: trata-se de uma energia renovável, possibilitando uma redução da emissão de gases de efeito estufa, possui alta densidade de energia, corresponde a uma alternativa de diversificação na matriz energética e redução do consumo do petróleo, pode ser utilizada no controle da erosão devido seu grande volume de raízes, possui técnicas de produção apuradas, a colheita pode ser feita durante todo ano e seu produto pode ser armazenado para prolongamento do uso, e por fim a possibilidade de se

obterem formas estéreis, não produtoras de sementes, garantindo que a multiplicação seja apenas vegetativa (Matsuoka et al. 2012).

A cana de açúcar plantada em larga escala no Brasil é resultado de uma série de cruzamentos, mas que possuem a característica predominante da espécie *Saccharum officinarum*: elevado teor de açúcar e baixa quantidade de fibra. Já a cana energia teve seus cruzamentos direcionados para aproveitar mais os descendentes da *Saccharum spontaneum*, com alto teor de fibra (Mariano, 2015).

A Figura 1 ilustra quatro variedades de cana, sendo possível identificar entre elas a cana de açúcar tradicional, a cana energia selvagem, onde se encontram a *Saccharum spontaneum* e a *Saccharum robustum*, e a cana energia aprimorada.



Figura 1. Cortes transversais de colmos de diferentes variedades de cana (Fonte: Revista nova Cana.com (Mariano, 2015)).

A Figura 2 ilustra um comparativo de produção de cana de açúcar em relação à cana energia e a quantidade de cortes realizados.

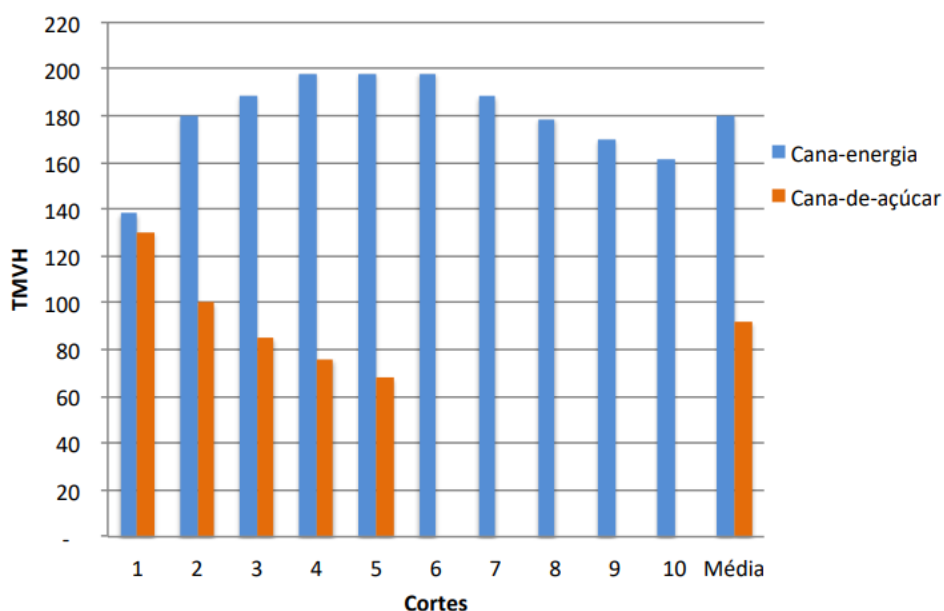


Figura 2. Produtividade da cana de açúcar e cana energia em relação a quantidade de cortes (Fonte: CTBE 2017).

2.2 BIOMASSA

Biomassa do ponto de vista energético é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia (ANEEL, 2005).

Dentre as biomassas vegetais, a cana de açúcar ocupa um lugar de destaque no Brasil. Por ser uma cultura já solidificada com uma logística desenvolvida em termos de colheita e transporte, conferindo-lhe vantagens frente a outras culturas energéticas (Mesa, 2011). Aproximadamente 15% do peso de cada colmo adulto da cana-de-açúcar é composto por palha, folhas e ponteiros e 40% desse resíduo não é usado na co-geração de energia. A coleta desses resíduos, que ficam no campo após a colheita pode ser direcionada para a combustão ou na conversão em bioetanol (Carvalho Netto et al., 2014).

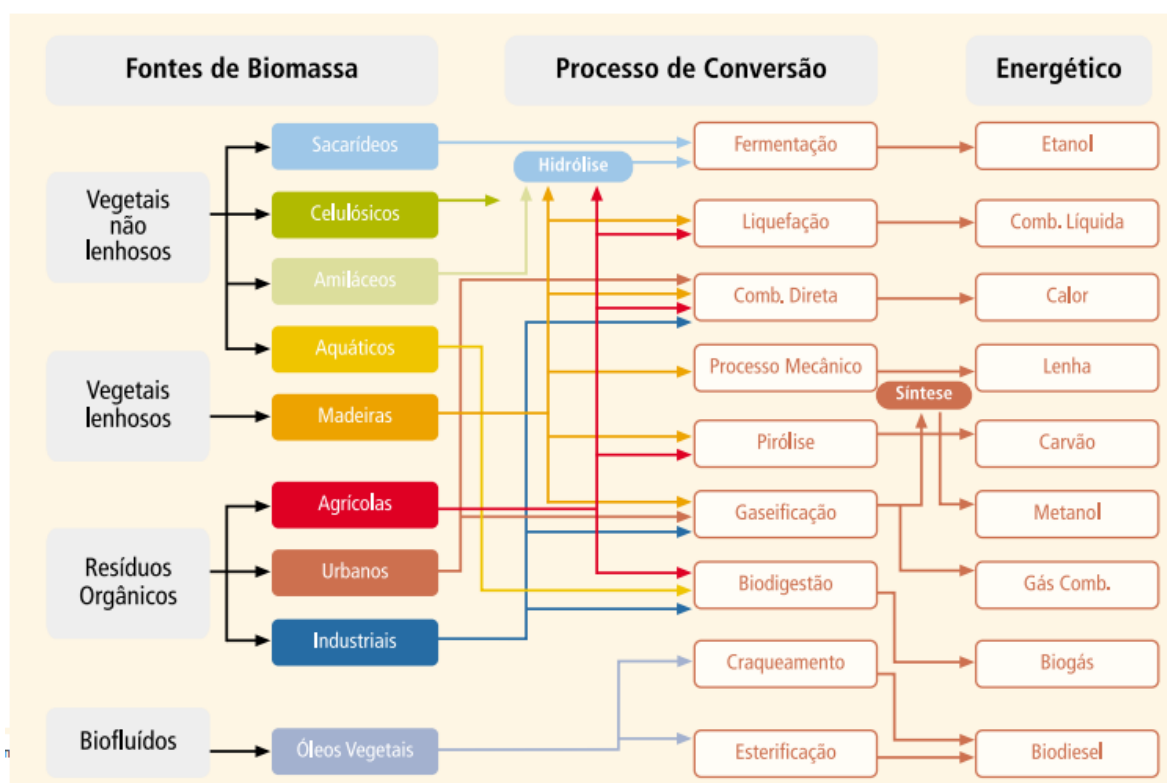


Figura 3. Processos de conversão energética da biomassa. (Fonte: BEN. Brasília: MME, 1982).

Há um grande número de tecnologias de conversão energética da biomassa (Figura 3), que incluem gaseificação, métodos de produção de calor e eletricidade, recuperação de energia de resíduos sólidos urbanos e gás de aterros sanitários além dos biocombustíveis para o setor de transportes (etanol e biodiesel). O recente interesse na

energia da biomassa tem dado ênfase em aplicações que produzem combustíveis líquidos para o setor de transportes (Goldemberg, 2009).

As vantagens do uso da biomassa como fonte de energia no Brasil são significativas, principalmente por diversificar a matriz energética brasileira face à dependência externa do país com relação aos combustíveis fósseis, contribuir para um desenvolvimento sustentável do país, em particular com a utilização de mão de obra local, principalmente na zona rural, podendo colaborar na garantia de suprimento de energia a comunidades isoladas, apresenta vantagens ambientais quando comparada aos combustíveis fósseis, principalmente em termos de emissões de gases do efeito estufa (Genovese et al., 2006).

Por outro lado, existem aspectos fundamentais e conjunturais importantes que se relacionam com a biomassa. Por exemplo, a necessidade e a oportunidade de utilização eficiente da enorme quantidade de resíduos agrícolas disponíveis no Brasil. Isso representa elevado potencial de geração de energia com perspectivas de viabilização de projetos que utilizam a biomassa como fonte de energia através dos mecanismos do Protocolo de Quioto (Genovese et al., 2006).

2.3 VINHAÇA

A vinhaça é um efluente líquido originado no processo da destilação para a produção de etanol, a partir da cana de açúcar. É o que mais se destaca em quantidade e capacidade poluidora, sendo também conhecida como vinhoto, restilo ou calda. Este resíduo aumenta proporcionalmente com o aumento da produção de etanol no mundo (Moraes et al., 2015). Suas características de carga poluidora (DBO entre 15.000 a 23.000 mg l⁻¹), e elevada taxa de produção (12 a 16 litros por litro de etanol produzido), sua alta temperatura, entre outros fatores, tornam-se problemas relevantes de tratamento e destinação final (Junqueira et al., 2009).

A composição da vinhaça varia em função do tempo, matéria prima utilizada na produção do etanol, tipo de solo e índice de maturação (Rodrigues et al., 2012). É definida como líquido de cor parda clara, que escurece em razão da oxidação, resultante do processo de fermentação, pH variando de 3,7 a 5, elevada corrosividade e índices de DBO e DQO, com alta temperatura na saída dos destiladores (Freire & Cortez, 2000).

Os constituintes da vinhaça são: 93% de água e 7% de sólidos; desses sólidos, cerca de 75% são matéria orgânica, formada de ácidos orgânicos e, em menor quantidade,

por cátions como o K^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2} e sua graduação alcoólica não é superior a 0,03°GL (Ludovice, 1997). Dentre os componentes químicos da vinhaça, destacam-se a matéria orgânica e o íon potássio, e em relação aos micronutrientes, o ferro é o que aparece em maior concentração, seguido do manganês, cobre e zinco em pequenas concentrações (Lelis Neto, 2008). Além de melhorar as características químicas do solo, a parte física do solo também é beneficiada, como a agregação, capacidade de retenção de água e de infiltração, devido ao maior aporte de matéria orgânica (Dalri et al., 2010; Paulino et al., 2011).

O uso da vinhaça deve receber atenção especial quanto à sua utilização, sendo como fertilizante uma opção para a substituição total ou parcial aos adubos minerais, se tornando uma alternativa mais viável para a sua destinação (Diniz, 2010). A possibilidade de se utilizar a vinhaça na agricultura foi demonstrada na década de 60, sendo empregada no próprio cultivo da cana de açúcar.

Diversos autores constataram que o uso da vinhaça na fertirrigação da cana-de-açúcar possibilitou maior produtividade, reduzindo a necessidade do uso de fertilizantes minerais, pois atingiu valores produtivos semelhantes à adubação mineral (Paulino et al., 2002; Barros et al., 2010). Diversos estudos começaram então a ser desenvolvidos com o objetivo de esclarecer a real qualidade nutricional presente na vinhaça para a agricultura. Bebé et al (2009) constataram que o uso da vinhaça na fertirrigação possibilitou um aumento de potássio em todas as profundidades dos solos.

Na busca de uniformizar a aplicação definir e reduzir o uso de doses elevadas de vinhaça no solo, a CETESB no ano de 2005 normatizou a utilização da vinhaça com a portaria nº 01/05, reeditada em dezembro de 2006, através da Norma Técnica P4.231. Nesta foram definidos parâmetros e métodos para o armazenamento, transporte e aplicação de vinhaça no solo para o Estado de São Paulo. A dosagem máxima determinada pela portaria da CETESB é obtida através da fórmula:

$$m^3 \text{ de vinhaça ha}^{-1} = [(0,05 \times CTC_{\text{efetiva}} - K_s) \times 3744 + 185] / k_v$$

Onde:

0,05 = 5% da CTC;

CTC = capacidade de troca catiônica (cmolc/dm³);

K_s = concentração de potássio no solo (cmolc/dm³);

3744 = constante – cmolc/dm³ para kg de potássio em um volume de 1 ha por 0,8 metros de profundidade;

185 = massa, em kg, de K_2O extraído pela cultura por ha, por corte;

K_{vi} = concentração de potássio na vinhaça em kg de $K_2O\ m^3$.

É possível concluir que para o cálculo, para um determinado solo é o potássio que estabelece a dose de vinhaça que será aplicada, por ser este o nutriente mais abundante nesse subproduto da produção de etanol.

2.4 BIODIGESTÃO

O processo de biodigestão anaeróbia é um sistema de tratamento da matéria orgânica por meio da degradação, formando metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2). É um processo natural que ocorre sem a presença de oxigênio, onde certas populações microbianas agem de forma conjunta para promover uma fermentação regulada e estável da matéria orgânica (Demirer & Chen, 2005).

Para que ocorra a digestão anaeróbia do material orgânico são necessários quatro processos: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Na hidrólise o material particulado é transformado em compostos de menor peso molecular facilitando a absorção pelas células. Na acidogênese, os compostos reduzidos são absorvidos pelas células das bactérias fermentativas, e excretados na forma de ácidos graxos voláteis, álcoois e ácido láctico, além de outras substâncias orgânicas simples. Na acetogênese, esses produtos oriundos da acidogênese formam os substratos para produção do metano, sendo eles o acetato, hidrogênio e dióxido de carbono. E por último o processo de metanogênese, onde o metano é produzido por bactérias acetotróficas, com a redução do ácido acético, ou pelas bactérias hidrogenotróficas com a utilização do CO_2 (Foresti et al., 1999).

Baseado em Pinto (1999), estes são os fatores que influenciam na biodigestão:

- Temperatura: está relacionado à produtividade. As bactérias que operam em faixa de temperatura abaixo de $20^\circ C$ são chamadas psicrofílicas, as que operam entre 20 a $45^\circ C$ são chamadas mesofílicas e acima de 45° são chamadas de termofílicas. Como a taxa de produção de biogás aumenta com a elevação de temperatura, a faixa termofílica apresenta maior índice de produtividade e menor custo graças ao menor tempo de residência no equipamento.
- pH: para o desenvolvimento adequado os microorganismos necessitam de um meio propício ao seu desenvolvimento. Portanto a acidez e alcalinidade são fatores importantes no processo de digestão anaeróbia. O pH do processo deve ser mantido entre 6 e 8, podendo ser considerado ótimo de 7 a 7,2.

- Agitação: este processo leva a um maior contato do substrato com as bactérias, distribuindo melhor o calor na biomassa e dando maior uniformidade dos produtos intermediários e finais da biodigestão, além de evitar a produção de uma crosta que pode obstruir a parte superior do biodigestor.

2.5 BIOFERTILIZANTE

O biofertilizante é um coproduto obtido a partir da fermentação anaeróbica dos resíduos orgânicos (Wang et al., 2012). Este produto apresenta-se em geral sob a forma líquida e tem uma composição complexa formada, principalmente por nitrogênio, potássio e o fósforo. Estes são nutrientes essenciais às plantas, atuando como fertilizante. Quando comparado com o fertilizante químico, o biofertilizante apresenta algumas vantagens, como por exemplo, o favorecimento da multiplicação de microrganismos benéficos, que por sua vez propiciam mais vida e saúde ao solo, torna o solo mais poroso, permitindo maior aeração em camadas mais profundas, propiciando um maior desenvolvimento das plantas (Izumi et al., 2010).

O aproveitamento de resíduos de atividades produtivas tem tido um crescente interesse, por ser uma alternativa técnica e ambientalmente correta. Portanto, com esse procedimento, objetiva-se reduzir a exploração dos recursos naturais envolvidos na produção de fertilizantes químicos e minimizar os impactos ambientais causados (Nogueira et al., 2006).

Maghanaki et al. (2013) ressaltam que o biofertilizante líquido é absorvido com maior facilidade pelas plantas, pois penetra diretamente na raiz da planta. É importante ressaltar ainda que aplicações únicas não devem ser feitas, visto que podem ocorrer perdas dos nutrientes por erosão e lixiviação (Izumi et al., 2010). Segundo Santos & Akiba (1996), em função dos baixos custos de produção e da forma simplificada de preparo, o biofertilizante está surgindo como um adubo natural para a nutrição das plantas e redução do ataque de pragas e doenças na busca de aumentos significativos no rendimento das culturas.

Ueno et al. (2014) trabalharam com biofertilizante em hortaliças e os resultados demonstraram melhores índices de produção de massa seca da parte aérea e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em folhas do que tratamentos utilizando vinhaça *in natura*.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

A pesquisa foi desenvolvida em três áreas experimentais da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (EA-UFG), no Laboratório de Biomassa e Biogás; no Laboratório de Análise de Solo, Substratos e Nutrição de Plantas (LASSNUT); e na Estufa, dentre as coordenadas 16° 35' 47.58" de latitude sul e 49° 16' 47.49" de longitude oeste. O clima da região é o tipo climático Aw (Megatérmico) ou tropical de savanas, com invernos secos e verões chuvosos, de acordo com a classificação de Köppen. A área de estudo possui 730 m de altitude, precipitação média anual de 1600 mm e temperatura mínima e máxima anual de 15,2 e 30,4 °C, respectivamente.

3.2 IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido com a cultura da cana energia nas safras 2017/2018, 2018/2019, 2019/2020. No início foram retiradas as amostras de solo em um perfil dividido em 5 camadas (0-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60; 0,60-0,80; 0,80-1,00 m). Em seguida os solos foram peneirados para remoção de raízes e rochas, e acondicionado em colunas de PVC. Para a correção da acidez do solo foi utilizado o calcário Filler (CaO=30%; MgO=18%; PRNT=100%), com objetivo de elevar a saturação de bases para 70% na primeira camada, 60% na segunda camada e 50% para as demais.

As colunas de PVC utilizadas tinham as dimensões de 1.20 m de altura por 0.25 m de diâmetro revestidas internamente com sacos de rafia, com uma gema de cana energia em cada. A parte inferior da coluna possuía um dreno constituído de brita e areia, para evitar encharcamento e melhorar a percolação, o mesmo estava ligado em um tubo flexível de borracha e um coletor para recolher a solução lixiviada, e posteriormente foram colocados os sacos de rafia por dentro pra evitar capilaridade, e por fim o solo deixando 0.10 m na parte superior das colunas para fins de adubação com biofertilizante.

Os solos utilizados foram um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico textura argilosa (argila: 490 g kg⁻¹; silte: 80 g kg⁻¹; areia: 430 g kg⁻¹), e um LATOSSOLO

VERMELHO AMARELO Distrófico textura média (argila: 160 g kg⁻¹; silte: 140 g kg⁻¹; areia: 700 g kg⁻¹), classificados de acordo com EMBRAPA (2018), coletados na EA-UFG e no Parque Serra da Areia em Aparecida de Goiânia. (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos químicos do solo antes da instalação do experimento.

pH	Ca --- cmol _c dm ⁻³ ---	Mg --- cmol _c dm ⁻³ ---	P --- mg dm ⁻³ ---	K --- mg dm ⁻³ ---	Al --- cmol _c dm ⁻³ ---	H + Al --- cmol _c dm ⁻³ ---	V %	MOS g kg ⁻¹
LATOSSOLO VERMELHO Ácrico								
----- 0 – 0,2 m -----								
4,90	0,90	0,80	1,80	79,0	0,0	3,50	35,2	26,0
----- 0,2 – 0,4 m -----								
4,80	0,40	0,27	0,90	36,0	0,0	2,50	23,4	11,0
----- 0,4 – 0,6 m -----								
5,20	0,30	0,20	0,90	25,0	0,0	2,10	21,2	6,00
----- 0,6 – 0,8 m -----								
5,40	0,20	0,20	0,90	14,0	0,0	1,90	18,7	6,00
----- 0,8 – 1,0 m -----								
5,50	0,20	0,20	0,60	10,0	0,0	1,90	18,3	7,00
LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico								
----- 0 – 0,2 m -----								
4,30	0,10	0,10	0,60	13,0	0,6	3,10	7,0	11,0
----- 0,2 – 0,4 m -----								
4,40	0,30	0,20	0,30	7,00	0,5	2,50	17,2	6,00
----- 0,4 – 0,6 m -----								
4,50	0,10	0,10	0,30	5,00	0,30	2,10	9,2	6,00
----- 0,6 – 0,8 m -----								
4,60	0,10	0,10	0,30	5,00	0,20	1,90	10,1	3,00
----- 0,8 – 1,0 m -----								
4,80	0,10	0,10	0,60	5,00	0,10	1,70	11,1	3,00

pH em CaCl₂; Ca: Cálcio, Mg: Magnésio, P: Fósforo, K: Potássio, Al: Alumínio, H + Al: Hidrogênio + Alumínio, V: Saturação por bases, MOS: Matéria Orgânica.

3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial (2x6), constituído por dois solos (textura média e argilosa) e 5 doses de biofertilizante: 0, 150, 300, 600, 1200 m³ ha⁻¹ (Tabela 2), e adubação NPK recomendada. A adubação de cobertura foi realizada 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio após 60 dias de plantio para todos os tratamentos, e 60 dias após o corte da cultura (Souza & Lobato, 2004).

A adubação NPK foi 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 120 kg ha⁻¹ de K₂O e 30 kg ha⁻¹ de N no plantio (Souza & Lobato, 2004). O biofertilizante foi advindo da metanogênese da cana energia. Para a recomendação do biofertilizante foi utilizada a norma da CETESB de 2005 que normatiza a utilização da vinhaça com a portaria nº 01/05, reeditada em dezembro de 2006, através da Norma Técnica P4.231, devido ao biofertilizante possuir maior

concentração de potássio em sua composição. Nos tratamentos com biofertilizante foi aplicado uma adubação fosfatada com yoorin no plantio de acordo com a análise de solo do início do experimento. A aplicação do biofertilizante foi realizada apenas no início do experimento sendo os demais cortes (soca I e II) apenas com efeito residual do mesmo. O material utilizado no plantio foi uma variedade de cana energia tipo II (VG 11283) com baixo nível de açúcar e elevado nível de fibra.

Tabela 2. Doses dos tratamentos para a instalação do experimento.

Tratamento	Dose	m ³ ha ⁻¹	Biofertilizante (L*)	Água (L)	Total (L)	Dose a cada 2 dias (60dias) (L)
T1	0	0	0	120	120	4
T2	0,5	150	15	105	120	4
T3	1	300	30	90	120	4
T4	2	600	60	60	120	4
T5	4	1200	120	0	120	4
T6	Q*	0	0	120	120	4

L*: litros; Q*; Tratamento (NPK)

Tabela 3. Análise química do biofertilizante utilizado no experimento em casa de vegetação, Goiânia, Estado Goiás, Brasil, 2017.

N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	Ni	Cd	Cr	Pb
----- g/kg-----					----- mg/kg -----							
3,4	0,4	10	6,3	2,4	18	1581	139	144	ND	0,1	ND	5,0

N: Nitrogênio, P: Fósforo, K: Potássio, Ca: Cálcio, Mg: Magnésio, Cu: Cobre, Fe: Ferro, Mn: Manganês, Zn: Zinco, Ni: Níquel, Cd: Cádmio, Cr: Cromo, Pb: Chumbo, ND: não detectável. Cd e Pb dentro do permitido na legislação brasileira.

3.4 AVALIAÇÕES DE ALTURA DE PLANTAS, DIÂMETRO DO COLMO E NÚMERO DE PERFILHOS

Para as avaliações de altura foi utilizada uma trena, medindo da superfície do solo até o colarinho da folha +1. A medição foi realizada em um planta por vaso. Para o diâmetro foi utilizado um paquímetro digital, realizando as medidas no terço médio de cada colmo. Os perfilhos foram quantificados por vaso. As medições (altura, diâmetro e

perfilhos) para cana planta foram mensalmente compreendendo 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270 e 300 dias após o plantio (DAP), para cana soca I e II foram realizadas 120, 150, 180, 210, 240 dias após o corte (DAC).

3.5 AVALIAÇÕES FISIOLÓGICAS

Para a avaliação da qualidade fisiológica das plantas de cana energia, foram realizadas medições de trocas gasosas em folhas totalmente expandidas com bom aspecto fitossanitário, obtidas por meio da média de três leituras por vaso (tratamento). Esta avaliação foi realizada na cana energia planta na época da colheita (300 DAP).

As variáveis analisadas foram: taxa de fotossíntese líquida (A), condutância estomática (Gs), transpiração (E), concentração interna de CO₂ (Ci) e rendimento quântico máximo do FSII (Φ FSII ou Fv/Fm). Para isso, foi utilizado um sistema analisador de fotossíntese, IRGA - Infrared Gas Analyser acoplado a um fluorômetro, modelo iFL – Integrated Fluorometer and Gas Exchange System, com câmara foliar de 6,25 cm².

A fluorescência da clorofila α (F) foi determinada aplicando um pulso de luz saturante de 1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ com duração de 1 segundo. Os dados de fluorescência foram utilizados para calcular ΦFSII (rendimento quântico máximo do FSII) conforme equação 2 (Maxwell & Johnson, 2000).

$$\Phi\text{FSII} = (\text{Fm}' - \text{Fs})/\text{Fm}'$$

Equação 2

Em que: Fs, indica a fluorescência no estado de equilíbrio dinâmico (folha iluminada) e Fm', a fluorescência máxima da folha em ambiente iluminado.

3.6 PRODUTIVIDADE DE COLMOS E BIOMASSA TOTAL

A colheita da cana energia planta foi realizada no período de 300 DAP, da cana energia soca I aos 240 DAC da cana planta e da cana soca II aos 240 DAC da cana soca I. Para isso, foram cortadas as plantas de cada vaso de forma manual e posteriormente separado o colmo das folhas para determinação da biomassa fresca e seca. A quantidade de biomassa total e de colmos foi mensurada em gramas por vaso. Foram avaliados o teor de sólidos solúveis do caldo (°brix em %) com auxílio de um refratômetro, na cana planta no período de 300 DAP e na cana soca I aos 240 DAC.

3.7 AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO E FOLIAR

A avaliação da fertilidade do solo na cana planta foi realizada no período de 300 DAP, na cana soca I no período de 240 DAC da cana planta e na cana soca II 240 DAC da cana planta I. Foram retiradas as amostras de solo de cada tratamento, na profundidade de 0- 0,20 m para posterior análise química no laboratório de solos. Foram caracterizados os seguintes nutrientes cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (extraídos em KCl), fósforo (P) e potássio (K) (extraídos em Mehlich I), acidez potencial (H+Al) (solução SMP) e pH (CaCl₂), de acordo com metodologias descritas em Embrapa (2011). A matéria orgânica do solo foi determinada pela metodologia de oxidação com dicromato e leitura em espectrofotômetro (Embrapa, 2009). Com os resultados analíticos, foram calculados a somas de bases (SB), a capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação por bases (V%).

A avaliação foliar foi realizada na cana planta no período 240 DAP e na cana soca II em 240 DAC da cana planta I para determinação dos nutrientes na folha. Para fazer a análise coletou-se a folha +1 (folha mais alta com colarinho visível), conforme metodologia de Raij et al. (2001). Em seguida, as amostras do tecido vegetal (parte aérea) foram devidamente lavadas em solução detergente a 0,1% e água destilada, para posterior secagem em estufa de circulação forçada de ar à 65 °C por 72 horas, até a estabilização de sua biomassa seca. Após esse procedimento, foram determinados os teores nos tecidos vegetais (parte aérea) conforme procedimentos propostos por Silva (2009).

3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, os tratamentos comparados pelo teste de F. Em seguida a análise de regressão polinomial. Foram testados os modelos matemáticos lineares e quadráticos, e foi utilizado o que proporcionou melhor ajuste aos dados, adotando como critério para escolha do modelo a magnitude dos coeficientes de regressão significativos a 5% de probabilidade pelo teste T.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CANA PLANTA

4.1.1 ALTURA DE PLANTAS, DIÂMETRO DO COLMO E NÚMERO DE PERFILHOS

Verifica-se na Tabela 4 que a adubação com biofertilizante influenciou o crescimento da cana energia e acúmulo de biomassa. Em relação ao diâmetro do colmo, apresentou diferença significativa apenas no tratamento e na interação solo versus tratamento. Para perfilhos apresentou diferença tanto para o tipo de solo quanto para os tratamentos. Para as demais avaliações, como a produtividade de colmo, biomassa verde e biomassa seca houve diferença entre solo e tratamento porém não houve diferença na interação. Já para a variável grau brix não foi observado diferença nem para tratamento nem para solo (Tabela 4).

Tabela 4. Análise de variância para altura, diâmetro, perfilhos, colmo, biomassa total verde, biomassa total seca e grau brix de cana energia em função do tipo de solo e dos tratamentos.

Teste F							
Causa Variação	Altura	Diâmetro	Perfilhos	Colmo	Biomassa Verde	Biomassa Seca	Brix
Tratamento	14,49**	5,36**	42,02**	17,17**	21,75**	16,99**	2,04 ^{ns}
Solo	25,68**	3,09 ^{ns}	221,6**	36,90**	44,92**	32,53**	0,29 ^{ns}
Solo*Tratamento	5,22**	4,87**	6,70**	1,59 ^{ns}	1,53 ^{ns}	1,65 ^{ns}	0,66 ^{ns}
CV (%)	17,66	12,96	36,07	28,96	25,42	24,60	18,22

Obs. ** - significativo a 1 % e ns – não significativo.

A aplicação do biofertilizante no solo afetou significativamente a altura da cana energia cultivada no LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico (Figura 4), para as avaliações realizadas aos 90, 120, 150, 180, 210 e 240 dias após semeadura (DAP), evidenciando o efeito positivo da adição de doses de biofertilizante no desenvolvimento da cultura. Já nas avaliações 30, 60, 270 e 300 DAP não houveram diferenças significativas. Na avaliação realizada aos 240 DAP foi observado que a dose ideal do biofertilizante para altura

642,22 m³ ha⁻¹. A adubação NPK aos 300 DAP apresentou uma média de altura de 212,00 cm, já a dose de 600 m³ ha⁻¹ apresentou uma média de 231,00 cm.

A dose de 600 m³ ha⁻¹ incrementou em 8 % na altura em relação a adubação NPK. Nas avaliações de 30 e 60 DAP não houveram diferenças estatísticas possivelmente porque a cultura estava em fase de desenvolvimento inicial. Flores (2012) avaliando os parâmetros de altura, número de perfilhos e diâmetro do colmo na cana de açúcar observou faltas de significância nos resultados justificando ao fato das plantas estarem jovens (quatro meses), uma vez que as mesmas se encontravam em fase de crescimento considerado lento.

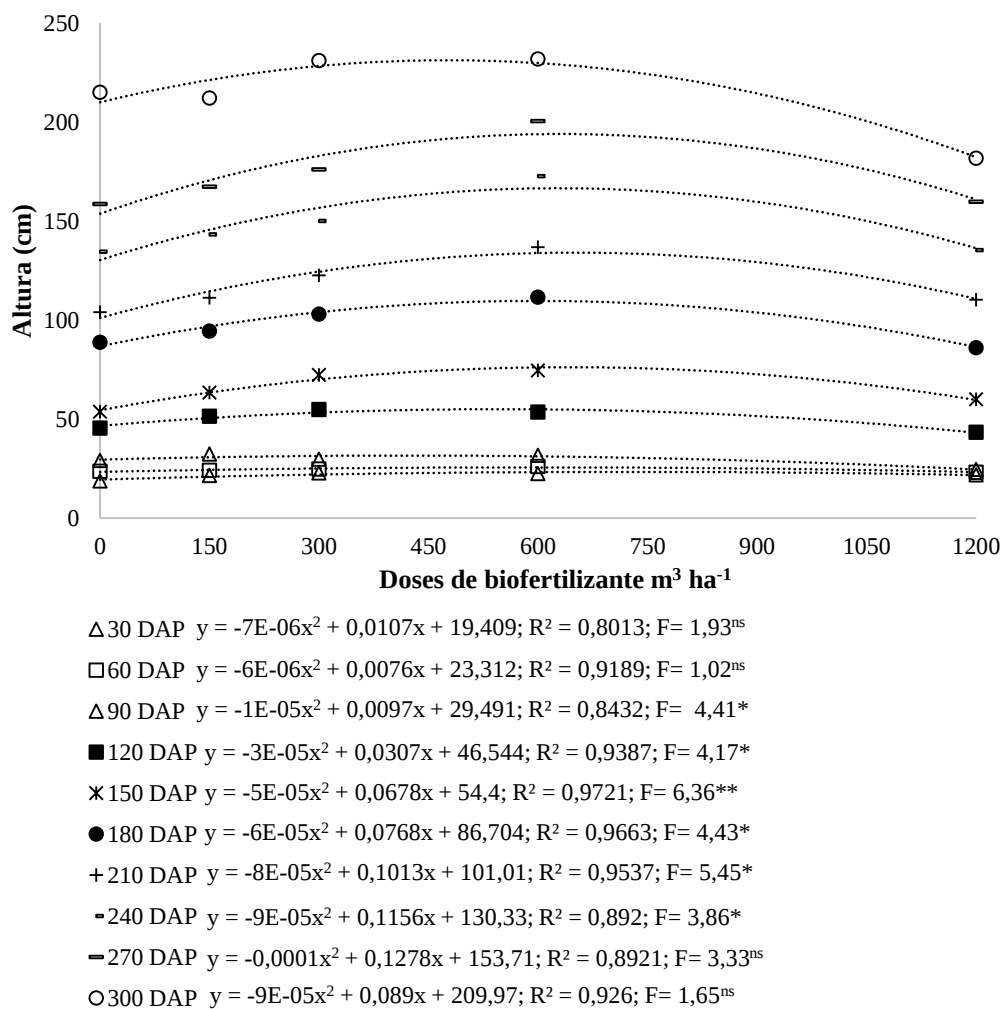


Figura 4. Altura de plantas (cm) em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia planta cultivada em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico. ^{ns}, * e ** – não-significativo à 5%; significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Para a variável altura no LATOSSOLO VERMELHO Ácrico a aplicação do biofertilizante influenciou nas avaliações 120, 150, 180, 210 e 240 DAP apresentando efeito significativo, e nas avaliações 30, 60, 90, 270 e 300 DAP não apresentou diferença significativa (Figura 5). Na avaliação realizada aos 240 DAP, a dose de biofertilizante recomendada é de 830 m³ ha⁻¹. Para adubação NPK aos 300 DAP a média de altura da cana energia foi de 286,5 cm e na dose de 600 m³ ha⁻¹ foi de 270,5 cm. Neste caso a adubação com NPK apresentou uma altura 5,58 % maior em relação a dose de 600 m³ ha⁻¹. Para 270 e 300 DAP não apresentou diferença devido a fase de desenvolvimento da cultura como alongação do colmo; crescimento intenso e início do acúmulo de sacarose vai de 90 a 270 DAP (Marin et al., 2009).

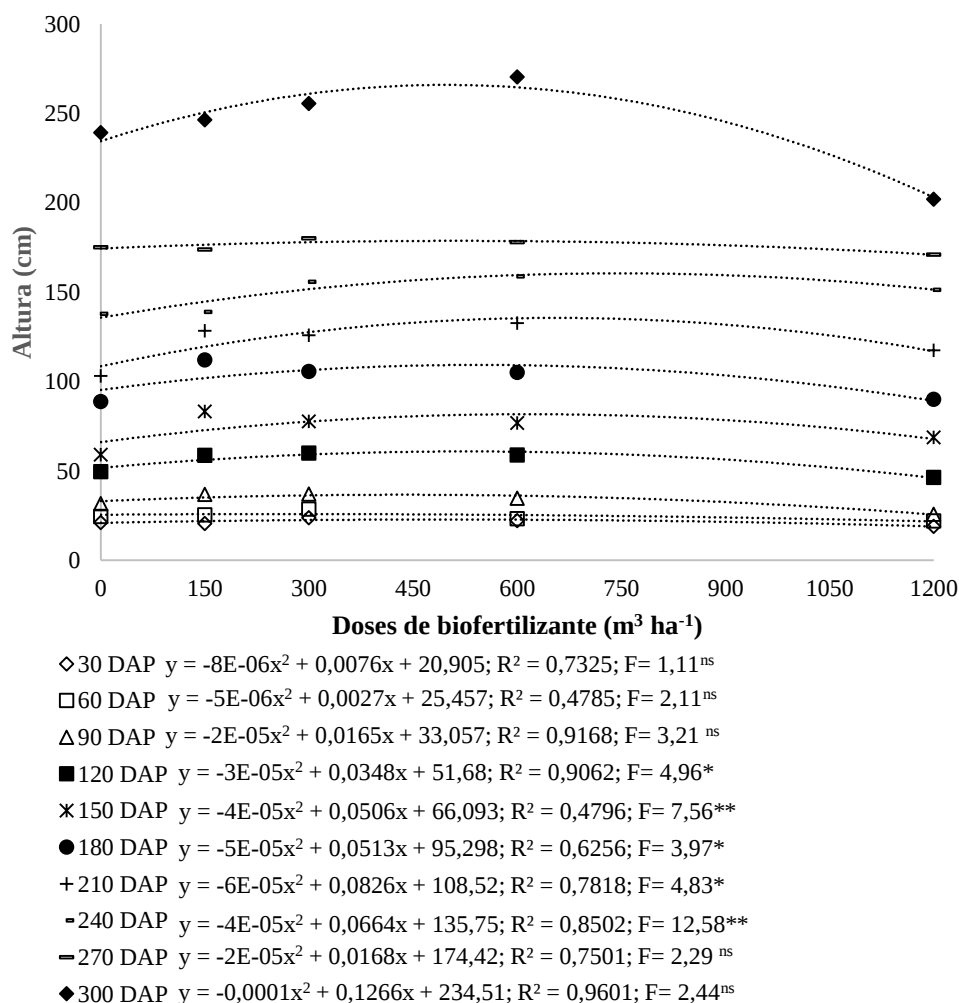


Figura 5. Altura de plantas (cm) em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia planta cultivada em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico. ^{ns}, * e ** – não-significativo à 5%; significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Em relação ao diâmetro de colmos, a aplicação do biofertilizante apresentou diferença significativa na avaliação realizada aos 240 DAP, e as demais avaliações não apresentaram diferença significativa para os tratamentos (Figura 6). Derivando a função dada pela equação que descreve a curva de 240 DAP foi obtida a dose de 700,00 m³ ha⁻¹ que permite atingir o maior diâmetro. Para o tratamento NPK aos 300 DAP a média do diâmetro foi de 11,25 mm, e na dose de 600 m³ ha⁻¹ na mesma avaliação foi de 12,6 mm.

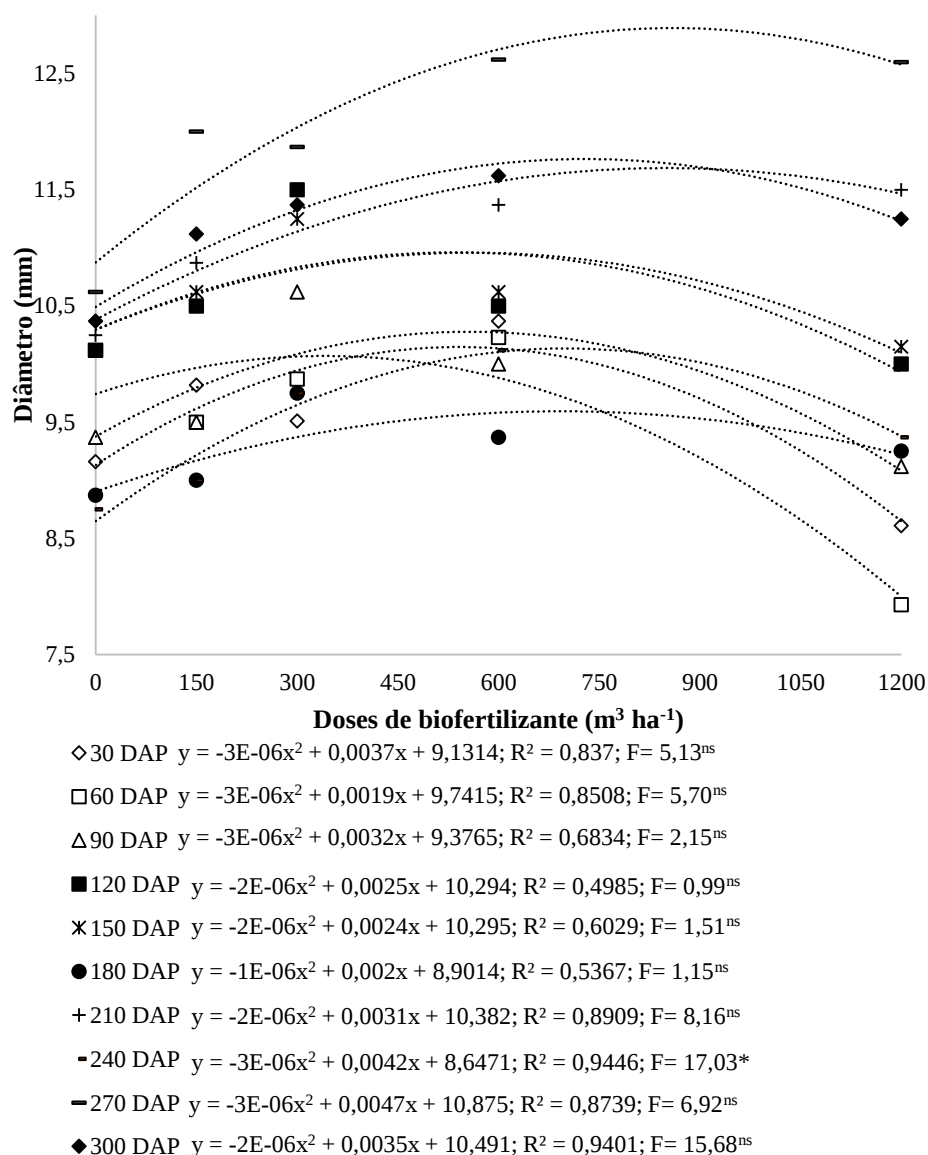


Figura 6. Diâmetro do colmo (mm) em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia planta. ^{ns}, * e ** – não-significativo à 5%; significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Para a variável número de perfilhos no LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico, observa-se efeito significativo, para avaliações realizadas aos 150, 180, 210, 240, 270 e 300 DAP, onde na dose de 1200 m³ ha⁻¹ atingiram aproximadamente 17 perfilhos por vaso, representando um incremento de 183,33% respectivamente, quando comparado com o tratamento NPK, com 6 perfilhos por vaso (Figura 7).

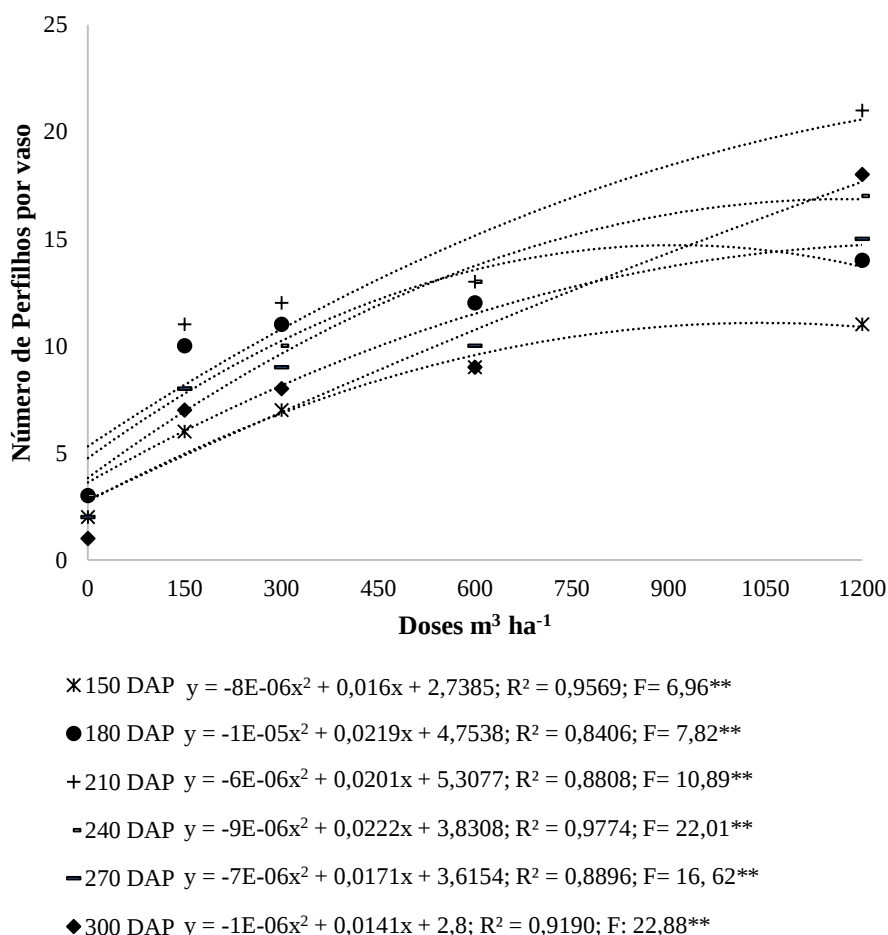


Figura 7. Número de perfilhos por vaso em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia planta cultivada em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico. ^{ns}, * e ** – não-significativo à 5%; significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

No LATOSSOLO VERMELHO Ácrico observou efeito significativo para a variável número de perfilhos, nas avaliações 150, 180, 210, 240, 270 e 300 DAP, comportamento semelhante ao LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico (Figura 8). Derivando a função dada pela equação que descreve a curva de 300 DAP foi estimada a dose de 1375,00 m³ ha⁻¹ que permite atingir o maior número de perfilhos. O tratamento NPK apresenta uma média de 15 perfilhos por vaso (Figura 8).

O perfilhamento é um processo fisiológico de ramificação subterrânea que dá origem aos brotos secundários. Estes brotos, por sua vez, também dão origem a novas raízes, acelerando o desenvolvimento do sistema radicular (Marin et al., 2009). Observando os dados dos dois solos na presente pesquisa nota-se que quanto maior a dose aplicada do biofertilizante ocorre um aumento no número de perfilhos, isto provavelmente ocorre devido ao maior fornecimento de nutrientes a planta devido ao aumento da dose. Nobile et al (2011) trabalhando com biofertilizante na cana de açúcar encontraram resultados semelhantes ao presente estudo, onde o uso do biofertilizante promoveu um maior número de perfilhos por vaso quando comparado a testemunha sem o uso do biofertilizante.

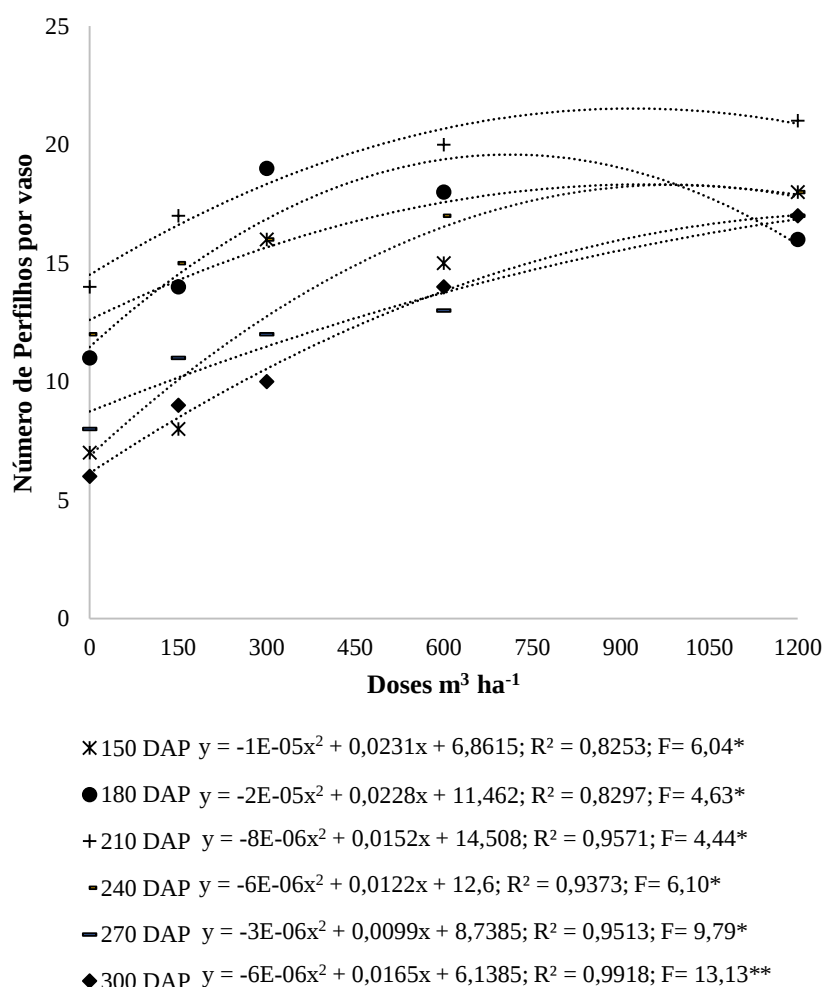


Figura 8. Número de perfilhos por vaso em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia planta cultivada em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico. ^{ns}, * e ** – não-significativo à 5%; significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

4.1.2 PRODUÇÃO DE BIOMASSA TOTAL SECA, VERDE E PRODUTIVIDADE DE COLMOS

A aplicação de biofertilizante no solo promoveu incrementos na produção de biomassa total seca da cana energia no LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico (Figura 9). No entanto, a média de produção do tratamento NPK foi de 375,32 gramas por vaso, e quando comparado com as doses de 1200, 600 e 300 m³ ha⁻¹ obtém-se um incremento de produtividade das doses de 54%, 46,48% e 46,31% em relação ao tratamento NPK. Derivando a função dada pela equação que descreve a curva de produtividade de biomassa total seca foi obtida a dose de 876,77 m³ ha⁻¹ que permite atingir a maior pico de produtividade total seca.

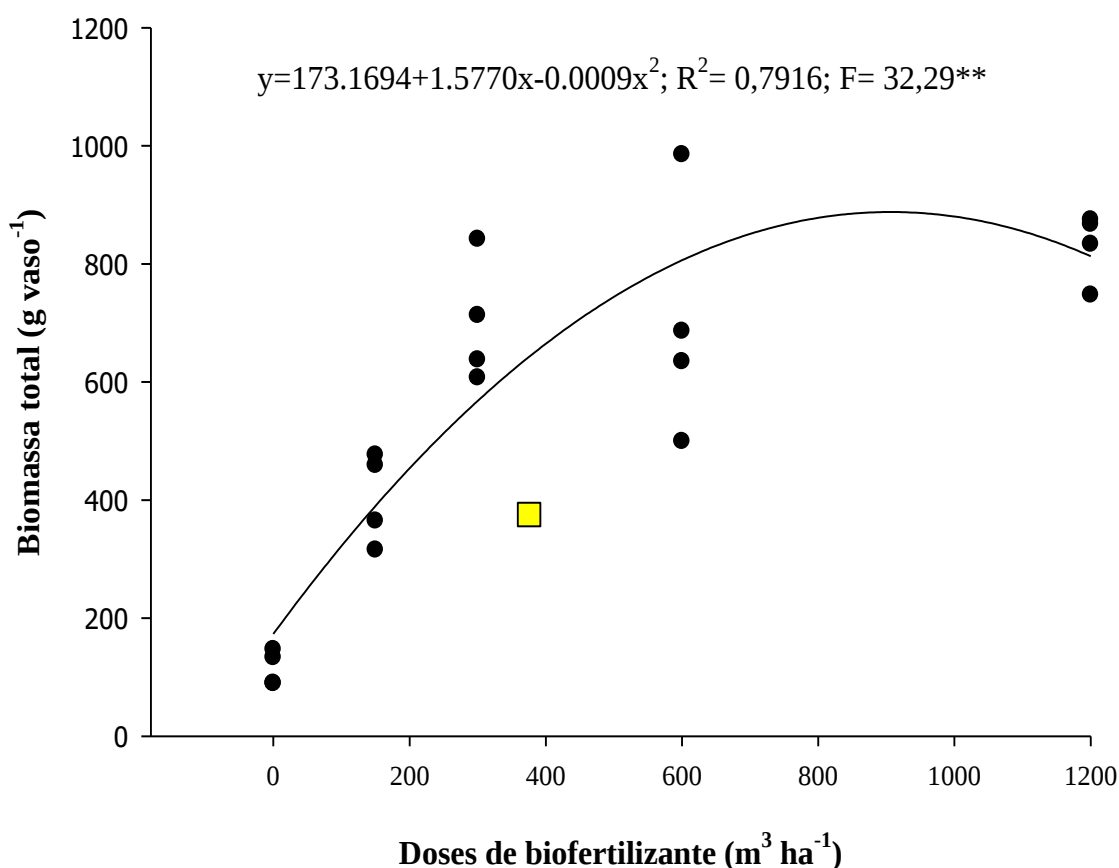


Figura 9. Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de Biomassa Total seca de cana energia planta em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico. ■ Média NPK. ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

No LATOSSOLO VERMELHO Ácrico aplicação do biofertilizante também promoveu incrementos na produção de biomassa total seca da parte aérea da cana energia (Figura 10). As doses 1200, 600 e 300 m³ ha⁻¹ quando comparadas com tratamento NPK apresentaram um incremento de produtividade de 15,12%, 14,85% e 0,5% em relação a

adubação convencional (NPK). Derivando a função dada pela equação que descreve a curva de produtividade de biomassa total seca foi obtida a dose de 834,00 m³ ha⁻¹, dose essa próxima a do LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico que foi 876,77 m³ ha⁻¹.

Nobile et al (2011), estudando a aplicação de biofertilizante na cana de açúcar observaram que no tratamento que recebeu biofertilizante a matéria seca de parte aérea (g vaso⁻¹), foi maior (725 g vaso⁻¹) do que no tratamento testemunha (585 g vaso⁻¹), corroborando com os dados da presente pesquisa.

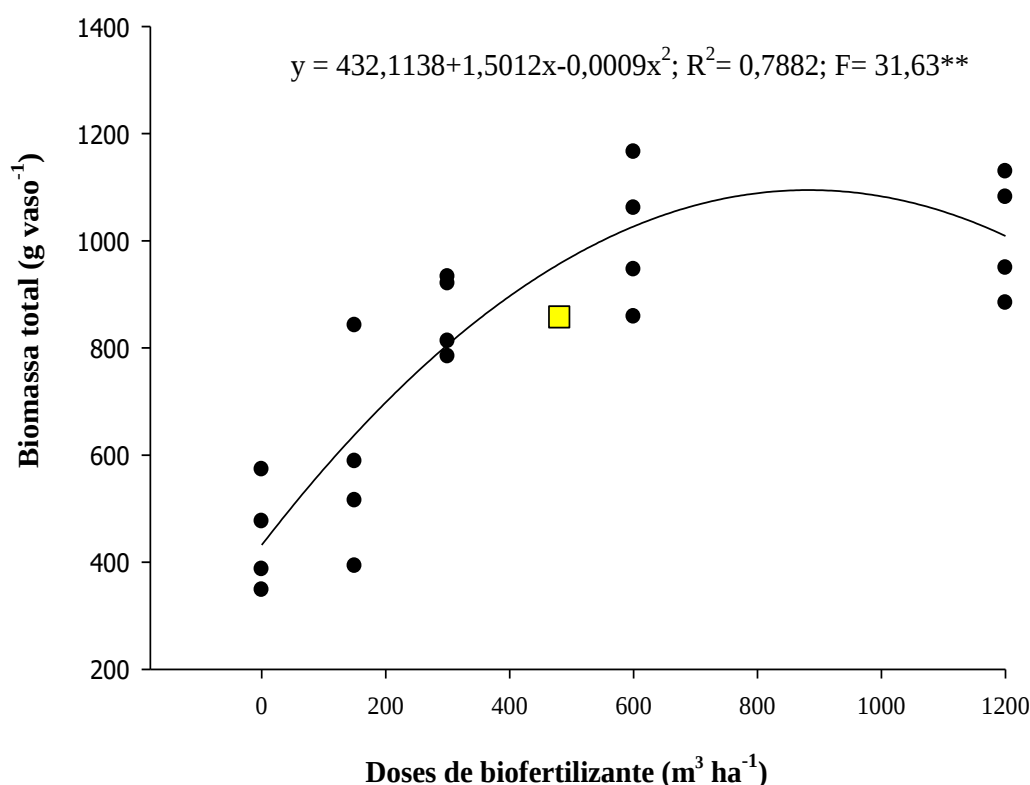


Figura 10. Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de Biomassa Total seca de cana energia planta em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico. ■ Média NPK. ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

Em relação ao rendimento total de biomassa verde de cana energia, houve ajuste quadrático significativo para as doses de biofertilizante aplicadas, onde a produção de biomassa verde variou entre 219,75 e 2277,45 g vaso⁻¹ (Figura 11). A produção de biomassa verde na dose de 1200 m³ ha⁻¹ foi 10,36 vezes maior do que no tratamento controle, que não recebeu aplicação do biofertilizante. Em relação a produção do tratamento NPK (740,03 g vaso⁻¹), quando comparado com a dose 1200 m³ ha⁻¹ que mais produziu, observou-se um incremento de 205% de produtividade de biomassa verde em relação ao tratamento NPK.

Derivando a função dada pela equação que descreve a curva de produtividade de biomassa total verde foi obtida a dose de 1083,69 m³ ha⁻¹ onde obtém-se a maior produtividade de biomassa total.

Observa-se que a máxima produção de biomassa verde obtida no LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico esteve associada ao segundo maior teor foliar de potássio na folha, isto é, 7,05 g kg⁻¹. Comparando a dose de máxima eficiência dos dois solos para a produção de biomassa verde observa-se que o LATOSSOLO VERMELHO Ácrico (811,28 m³ ha⁻¹), necessita de uma dose menor para chegar no máximo de eficiência do que o LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico (1083,69 m³ ha⁻¹).

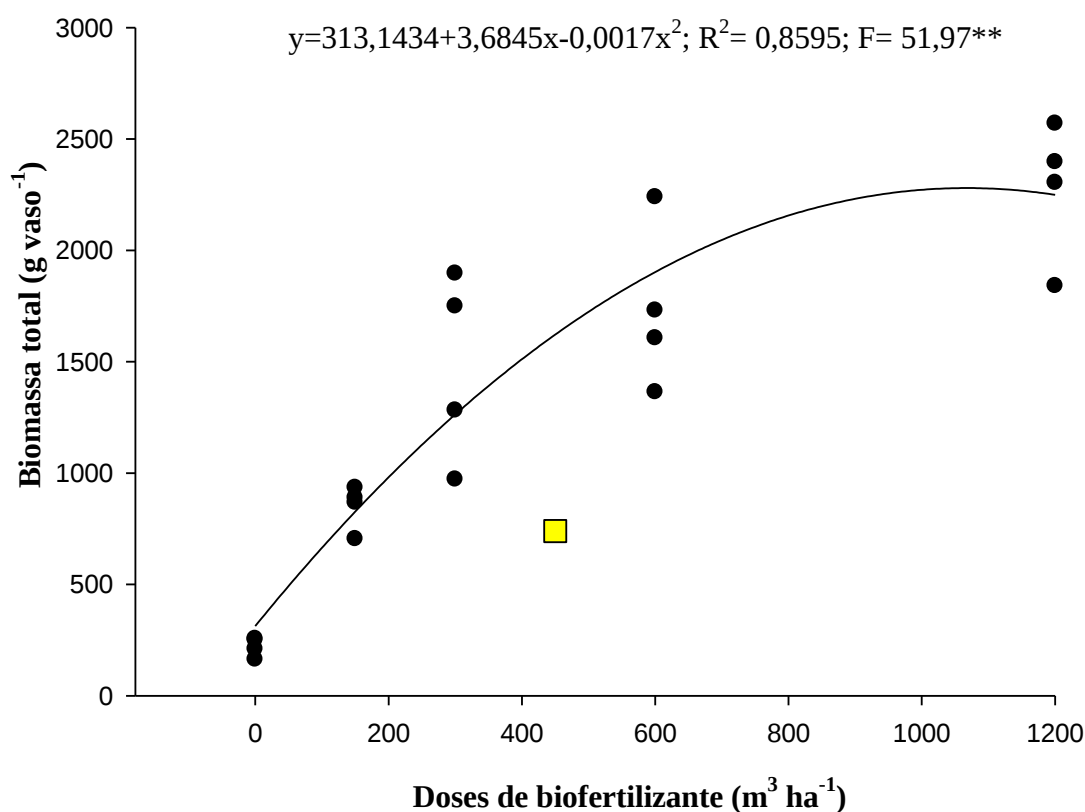


Figura 11. Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de Biomassa Total verde de cana energia planta em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico. ■ Média NPK. ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

A aplicação de doses de biofertilizante na cana energia no LATOSSOLO VERMELHO Ácrico promoveu incremento com ajuste quadrático para a produção de biomassa total verde, atingindo a produtividade de 2652 g vaso⁻¹ na dose de 600 m³ ha⁻¹ (Figura 12). Comparando a dose de 600 m³ ha⁻¹ que foi a mais produtiva, com a dose zero (1000,79 g vaso⁻¹) que não recebeu biofertilizante observa-se um incremento de

produtividade de 162,26% em relação a dose zero, já em relação ao tratamento NPK (2025,98 g vaso⁻¹) ocorreu um incremento de 23,61% de produtividade,

Derivando a função dada pela equação que descreve a curva de produtividade de biomassa total verde foi obtida a dose de 811,28 m³ ha⁻¹ onde obtém-se a maior produtividade de biomassa total. Nobile et al (2011), estudando a aplicação de biofertilizante na cana de açúcar observaram que para o tratamento que recebeu biofertilizante produziu maior biomassa total em comparação com a testemunha que não recebeu biofertilizante.

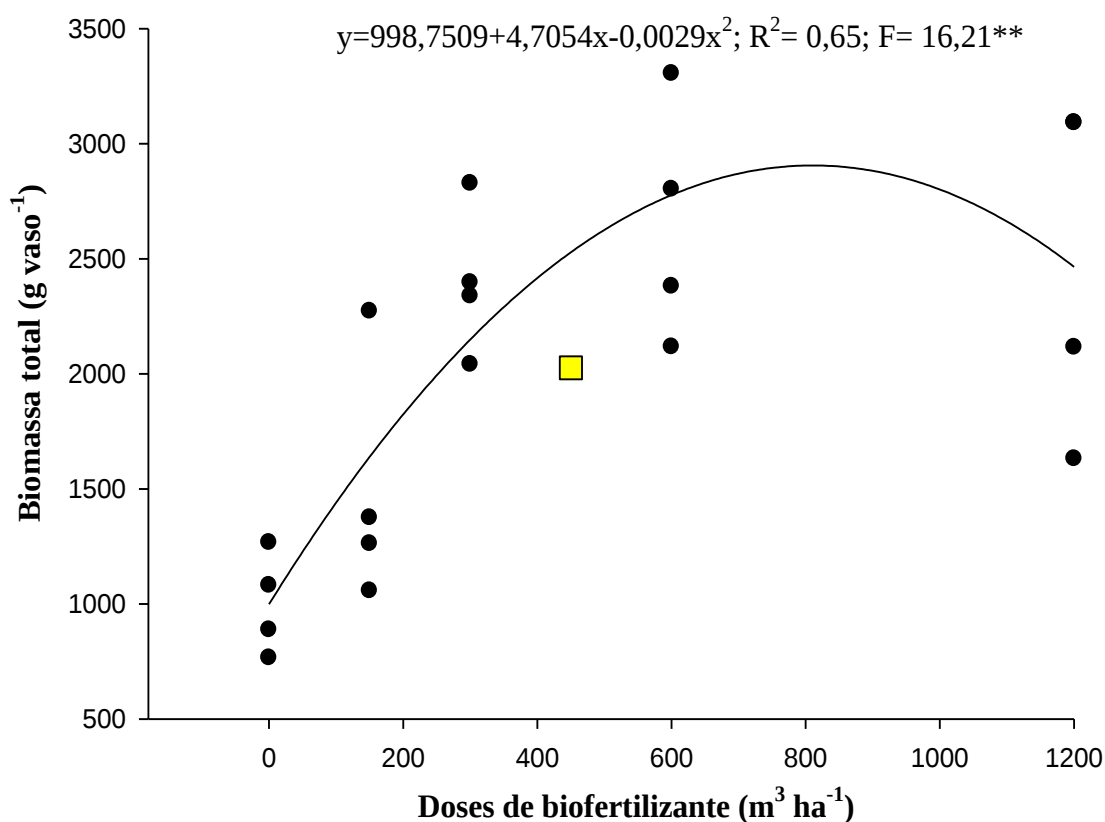


Figura 12. Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de Biomassa Total verde de cana energia planta em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico. Média NPK. ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

A aplicação de doses de biofertilizante na cana energia em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico promoveu incremento para a produção de colmos, atingindo a produção de 1620 g vaso⁻¹ na dose de 1200 m³ ha⁻¹ de biofertilizante. Em relação a dose zero (146,69 g vaso⁻¹), houve um incremento de 11,04 vezes na produtividade de colmos (Figura 13). Na dose de 1200 m³ ha⁻¹ em relação ao tratamento NPK (499,48 g vaso⁻¹) houve um incremento de produtividade de colmos de 3,25 vezes.

Derivando a função dada pela equação que descreve a curva de produtividade de colmos foi obtida a dose de 1078,71 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ onde obtém-se a maior produtividade de colmos. Stamford et al. (2006), trabalhando com biofertilizante, também encontraram efeito na matéria seca dos colmos da cana-de-açúcar. Nota-se que a máxima produção de colmos obtida no LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico esteve associada ao segundo maior teor foliar de potássio isto é, 7,05 g kg^{-1} , porém este teor de potássio se encontra abaixo do teor recomendado por Raij (2011) que considera adequado entre 10 e 16 g kg^{-1} (Figura 18).

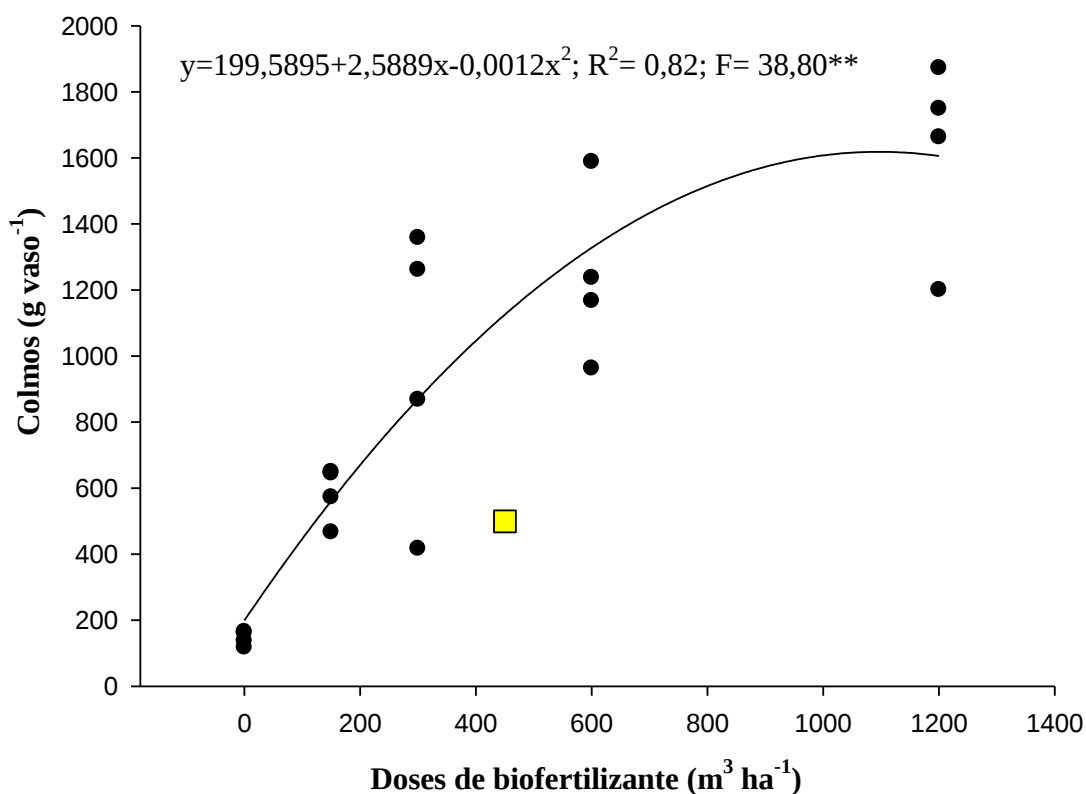


Figura 13. Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de colmos da cana energia planta em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico. Média NPK ****** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

A produção de colmos da cana energia foi influenciada pela aplicação de doses de biofertilizante no LATOSSOLO VERMELHO Ácrico (Figura 14). Na dose de 600 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ a produtividade de colmos foi 1905,04 g vaso^{-1} . Em relação a dose zero (691,41 g vaso^{-1}) houve um incremento de 137,85%. A produtividade média de colmos na dose de 1200 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ foi de 1745,50 g vaso^{-1} . Com a adubação NPK a produtividade foi de 1486,91 g vaso^{-1} . Comparando a dose de 600 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ com a adubação NPK observa-se um incremento de

produtividade de 21,95 %. Derivando a função dada pela equação que descreve a curva de produtividade de colmos foi obtida a dose de 805,96 m³ ha⁻¹ onde obtém-se a maior produtividade de colmos.

Observando as doses dos dois solos onde obtém-se a maior produtividade de colmos, o LATOSSOLO VERMELHO Ácrico (805,96 m³ ha⁻¹) apresenta uma dose menor em relação ao LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico (1078, 71 m³ ha⁻¹). Nota-se que a máxima produção de colmos (600 m³ ha⁻¹) obtida esteve associada ao segundo maior teor foliar de potássio na folha, isto é, 8,27 g kg⁻¹.

Medina et al (2002) avaliando o efeito da produção de cana-de-açúcar, em LATOSSOLO VERMELHO tratado com doses de vinhaça (0, 150, 300, 450 e 600 m³ ha⁻¹), observaram que houve aumento da produtividade de colmos com o aumento da dose de vinhaça, até a dose de 300 m³ ha⁻¹, porém aumentos adicionais na dose de vinhaça, nos tratamentos com 450 e 600 m³ ha⁻¹, provocaram redução, embora não significativa, na produtividade da cana.

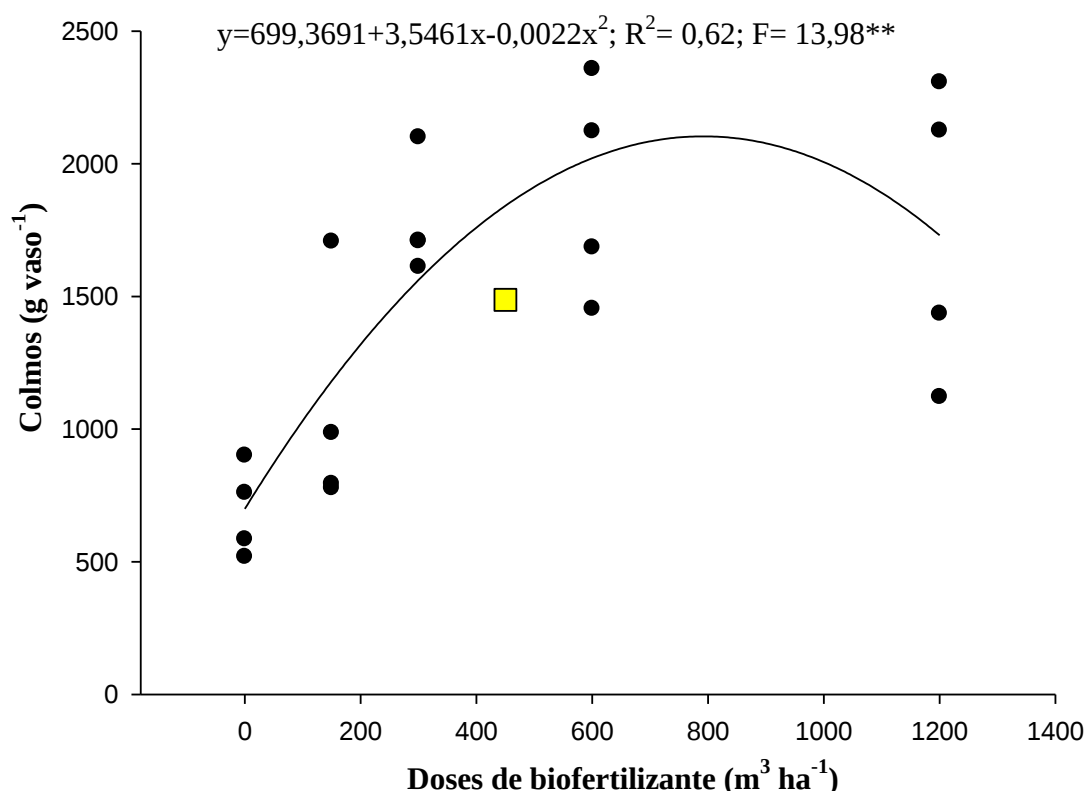


Figura 14. Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de colmos da cana energia planta em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico. ■ Média NPK ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

4.1.3 TRANSPIRAÇÃO, CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA, FOTOSSÍNTESE E CONCENTRAÇÃO INTERNA DE CO₂

A aplicação de doses de biofertilizante no solo teve efeito significativo para tratamento sobre a transpiração, condutância estomática e fotossíntese nas folhas de cana energia. As avaliações de concentração interna de CO₂ e rendimento quântico máximo (Fv/Fm) não apresentaram resultados significativos para o tratamento nem para os tipos de solo (Tabela 5).

Tabela 5. Análise de variância para transpiração, condutância estomática, fotossíntese, concentração interna de CO₂ e rendimento quântico máximo (Fv/Fm) de cana energia em função do tipo de solo e dos tratamentos.

Causa Variação	Teste F				
	Transpiração	Condutância estomática	Fotossíntese	Concentração interna de CO ₂	Fv/Fm
Tratamento	4,50**	4,76**	4,07**	1,96 ^{ns}	1,07 ^{ns}
Solo	0,28 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,93 ^{ns}	2,23 ^{ns}	0,22 ^{ns}
Solo*Tratamento	0,45 ^{ns}	1,99 ^{ns}	1,16 ^{ns}	3,70 ^{ns}	1,86 ^{ns}
CV (%)	43,88	43,90	40,53	40,74	1,81

Obs. ** - significativo a 1 % e ns – não significativo

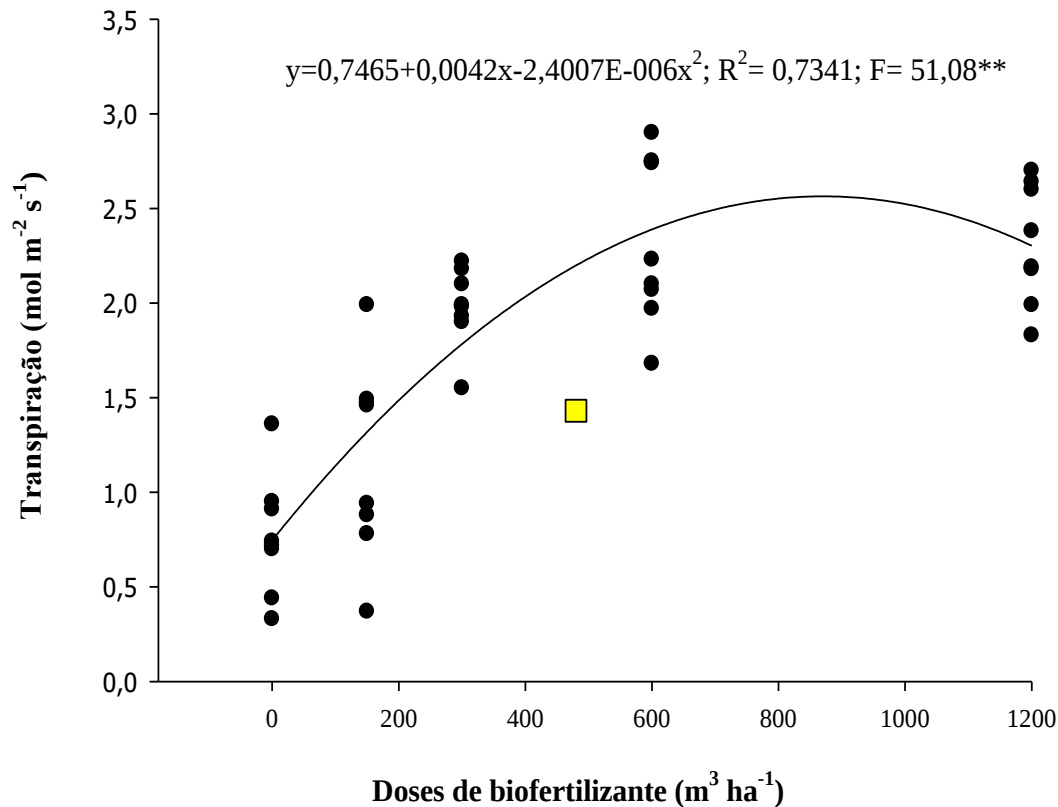


Figura 15. Efeito da aplicação de biofertilizante na transpiração (E) da cana energia planta. Média NPK ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

A transpiração na cana energia foi influenciada pela aplicação de biofertilizante no solo. A dose de $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ apresentou uma média de $2,30 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, já o tratamento NPK de $1,43 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 15). Derivando a função dada pela equação que descreve a transpiração foi obtida a dose de $874,74 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Tendo em vista que o biofertilizante tem em sua composição maiores teores de potássio, observa-se que este nutriente além de ser um ativador enzimático, exerce uma função fisiológica fundamental às plantas, que está relacionada com a abertura e fechamento dos estômatos (Prado, 2008).

Assim, a baixa perda de água pelas plantas bem supridas em potássio se deve a redução na taxa de transpiração, a qual não depende somente do potencial osmótico das células, mas também é controlada pela abertura e fechamento dos estômatos. Portanto, plantas bem supridas em potássio têm maior eficiência no uso da água (Prado, 2008).

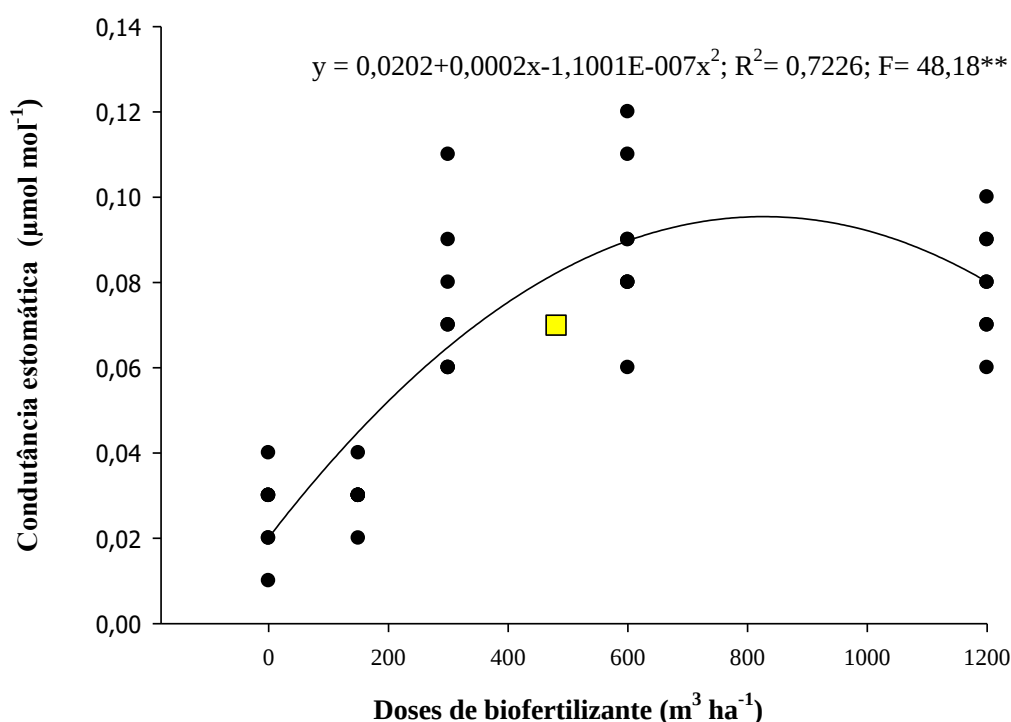


Figura 16. Efeito da aplicação de biofertilizante na condutância estomática (G_s) da cana energia planta. Média NPK ****** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

A condutância estomática foi influenciada pela aplicação de doses de biofertilizante no solo (Figura 16). A dose de $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ apresentou uma média de $0,09 \mu\text{mol mol}^{-1}$, e o tratamento NPK de $0,07 \mu\text{mol mol}^{-1}$. Derivando a função dada pela equação que descreve a transpiração foi obtida a dose de $909,01 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Ao mesmo tempo que as plantas necessitam abrir os estômatos para absorver CO_2 e realizar a fotossíntese, também precisam fechá-los para evitar a perda de água para a atmosfera (Boehring, 2010). Esse controle da abertura/fechamento dos estômatos também é importante na taxa de fotossíntese, pois em plantas deficientes em potássio a abertura dos estômatos não ocorre regularmente, diminuindo a entrada de CO_2 (Prado, 2008). Observando as curvas dos gráficos de fotossíntese e transpiração elas apresentam a mesma conformidade, consolidando que a transpiração e a fotossíntese estão diretamente interligadas, e a dose de $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ demonstra os melhores resultados onde também a planta apresenta um melhor teor foliar de potássio em torno de $7,6 \text{ g kg}^{-1}$.

Ao realizar o estudo da qualidade fisiológica em relação à fotossíntese líquida, a aplicação de doses biofertilizante promoveu um aumento na fotossíntese. Na dose de $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ a média de fotossíntese líquida foi de $12,36 \mu\text{mol m}^2 \text{ s}^{-1}$ (Figura 17). Notou-se também que a média do tratamento NPK foi de $9,16 \mu\text{mol m}^2 \text{ s}^{-1}$, observando que a dose de $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ proporcionou um incremento de 25,89 % em relação ao NPK. Derivando a função dada pela equação que descreve a curva de fotossíntese líquida foi obtida a dose de $737,46 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

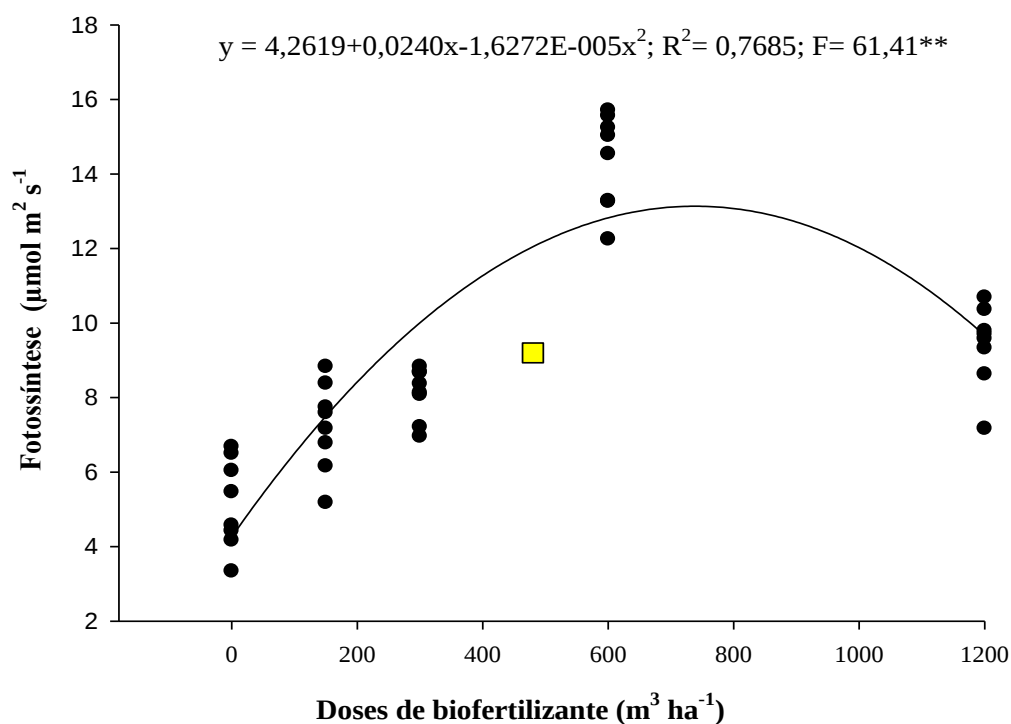


Figura 17. Efeito da aplicação de biofertilizante na Fotossíntese (A) da cana energia planta. NPK ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

4.1.4 DIAGNOSE FOLIAR

Em relação ao estado nutricional da cana energia, a aplicação do biofertilizante no solo afetou o teor desse nutriente na planta (Tabela 6). Para o nitrogênio, cobre e manganês não foram observadas diferenças significativas para solo e tratamentos. Para o fósforo houve diferença apenas para tratamento. Para potássio, cálcio e magnésio ocorreram diferenças significativas para solo e tratamento. E para os micronutrientes ferro e zinco houveram diferença apenas para solo.

Tabela 6. Análise de variância dos teores foliares de: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) na cana energia em função do tipo de solo e dos tratamentos.

Causa Variação	Teste F								
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Tratamento	0,86 ^{ns}	6,45**	5,67**	7,02**	8,94**	1,69 ^{ns}	2,14 ^{ns}	1,70 ^{ns}	0,44 ^{ns}
Solo	1,03 ^{ns}	1,64 ^{ns}	8,22**	20,38**	27,26**	0,86 ^{ns}	10,7**	0,42 ^{ns}	10,35**
Solo*Tratamento	1,41 ^{ns}	2,53 ^{ns}	1,37 ^{ns}	3,81**	7,81**	1,16 ^{ns}	1,0 ^{ns}	0,17 ^{ns}	1,08 ^{ns}
CV (%)	12,23	19,93	29,56	26,33	34,15	35,10	12,74	33,14	11,94

Obs. ** - significativo a 1 % e ns – não significativo

Com o aumento das doses do biofertilizante na cana energia aumentou a absorção de potássio pela planta no LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico (Figura 18). Derivando a função dada pela equação que descreve a curva de teor de potássio na folha foi obtida a dose de 831,91 m³ ha⁻¹ que permite maior teor de potássio nas folhas. Na dose de 600 m³ ha⁻¹ o teor médio encontrado foi 7,60 g kg⁻¹. De acordo com Raij et al (1996) a faixa de teor adequado de potássio na folha da cana de açúcar é de 10 a 16 g kg⁻¹. Observando os resultados a dose que mais se aproxima deste valor é 600 m³ ha⁻¹.

Nas doses 600 e 1200 m³ ha⁻¹ observou-se uma média nos teores de potássio na folha de 7,60 e 7,05 g kg⁻¹ enquanto que o tratamento NPK apresentou teor médio de 2,75 g kg⁻¹. Observa-se que ocorre um aumento no teor foliar para as doses de 600 e 1200 m³ ha⁻¹ quando comparado com NPK, de 138,18 % para 600 m³ ha⁻¹ e 128,18 % para 1200 m³ ha⁻¹. Normalmente o potássio move-se pelo fenômeno da difusão, porém em condições de vaso com raízes concentradas em volume de solo restrito, e em solo corrigido pode-se favorecer o fenômeno de fluxo de massa (Rosolem et al., 2003). E devido esse maior volume de raízes confinadas no vaso e maior disponibilidade de potássio de acordo com aumentos da dose provavelmente ocorre um maior teor foliar de potássio nas doses mais elevadas.

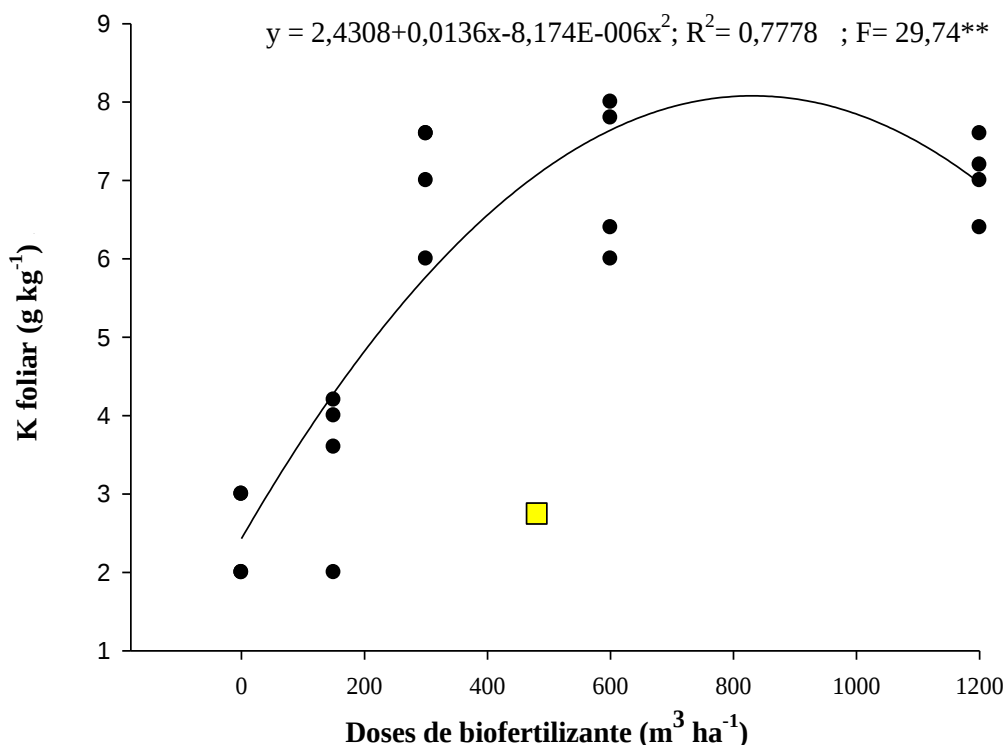


Figura 18. Teor de potássio (K) na folha em função da aplicação de biofertilizante na cana energia planta em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico. ■ NPK
 ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

Analisando o efeito das doses de biofertilizante sobre o teor foliar de potássio na cana energia em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico, pode-se observar na figura 19, que as plantas que receberam maior dose do biofertilizante apresentaram teores foliares significativamente maiores dos tratamentos que receberam doses menores. De modo geral, as concentrações foliares de potássio encontradas para os tratamentos 600 e 1200 m³ ha⁻¹ estão um pouco abaixo do nível crítico mínimo sugerido por Raij et al (1996), entre 10 e 16 g kg⁻¹ de potássio, onde as duas doses apresentam teores de 8,27 e 9,1 g kg⁻¹. Porém as plantas nestas doses não apresentaram deficiência visível de potássio em suas folhas, embora as duas maiores doses de biofertilizante tenha levado à maior produção de biomassa total verde e seca, conforme foi descrito anteriormente.

Observa-se que ocorre um aumento no teor foliar para as doses de 600 e 1200 m³ ha⁻¹ quando comparado com NPK (5,85 g kg⁻¹) de 29,26 % para 600 m³ ha⁻¹ e 36,34 % para 1200 m³ ha⁻¹. Derivando a função dada pela equação que descreve a curva de teor de potássio na folha foi obtida a dose de 944,07 m³ ha⁻¹ que permite maior teor de potássio nas folhas.

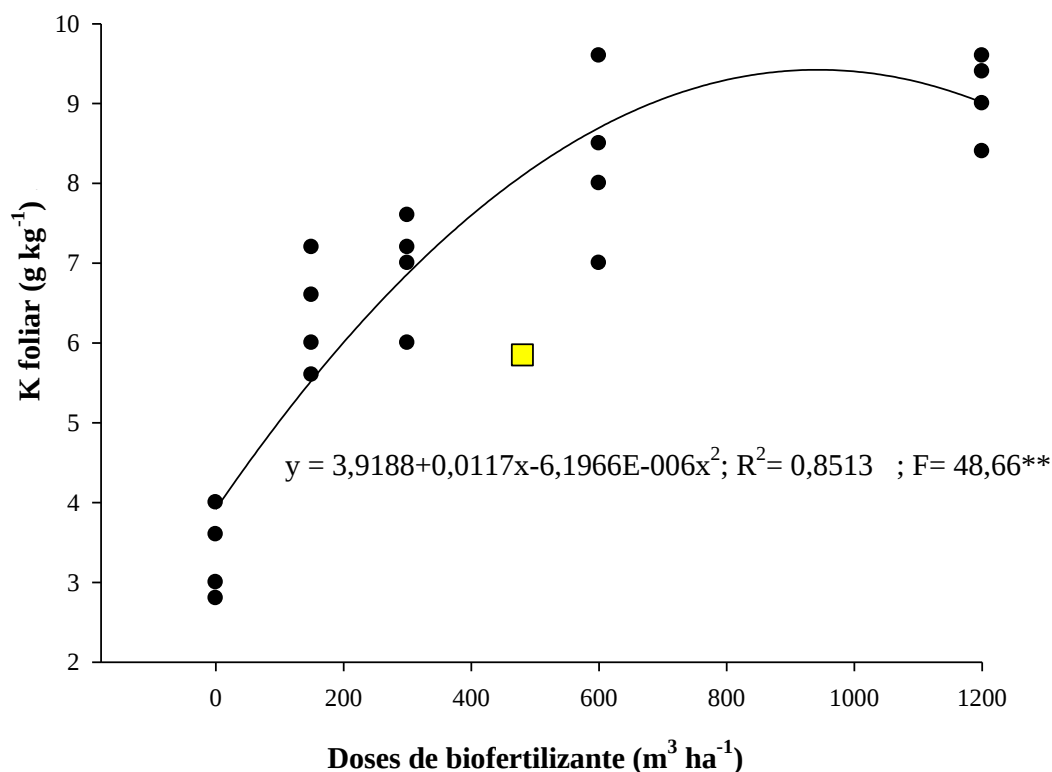


Figura 19. Teor de potássio (K) na folha em função da aplicação de biofertilizante na cana energia planta em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico. ■ NPK ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

4.1.5 FERTILIDADE DO SOLO

Não houve efeito significativo das interações entre tipos de solos e doses de biofertilizante sobre os teores de matéria orgânica, pH, fósforo, potássio, magnésio, alumínio e capacidade de troca de cátions (Tabela 7). Houve efeito significativo das doses de biofertilizante para tratamento para os seguintes atributos químicos do solo pH, fósforo, magnésio e saturação por bases. Já para solo houve efeito significativo para matéria orgânica, pH, potássio, cálcio, magnésio, capacidade de troca de cátions e saturação por bases.

Tabela 7. Análise de variância dos atributos químicos do solo: matéria orgânica (MO), pH, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio(Mg), alumínio (Al), capacidade de troca de cátions (CTC) saturação por bases (V%) na cana energia em função do tipo de solo e dos tratamentos.

Causa Variação	Teste F								
	MO	pH	P	K	Ca	Mg	Al	CTC	V%
Tratamento	2,36 ^{ns}	6,16 ^{**}	2,84 [*]	1,68 ^{ns}	0,71 ^{ns}	2,82 [*]	1,13 ^{ns}	0,78 ^{ns}	4,15 ^{**}
Solo	233,9 ^{**}	4,70 ^{**}	2,66 ^{ns}	34,47 ^{**}	58,71 ^{**}	24,93 ^{**}	3,60 ^{ns}	119,75 ^{**}	19,35 ^{**}
Solo*Tratamento	1,18 ^{ns}	2,2 ^{ns}	1,75 ^{ns}	0,84 ^{ns}	3,41 [*]	1,68 ^{ns}	1,13 ^{ns}	1,03 ^{ns}	4,80 ^{**}
CV (%)	17,11	5,07	84,21	30,21	7,98	8,73	365,08	6,94	4,04

Obs. ** - significativo a 1 %; * - significativo a 5% e ns – não significativo

4.2 CANA ENERGIA SOCA I

4.2.1 ALTURA DE PLANTAS, DIÂMETRO DO COLMO E NÚMERO DE PERFILHOS

O efeito residual da aplicação de doses de biofertilizante na cana energia afetou as variáveis biométricas (altura da planta, diâmetro do colmo e o número de perfilhos) e as variáveis de produtividade (colmo, biomassa verde e biomassa seca) e também o Grau Brix (Tabela 8). Na avaliação dos efeitos da aplicação do biofertilizante sobre as variáveis altura diâmetro, perfilhos, colmo, biomassa verde, e biomassa seca e brix observou diferenças estatísticas para o solo. Para a variável altura de plantas não foi observado diferença estatística para o tipo de solo.

Tabela 8. Análise de variância para altura, diâmetro, perfilhos, colmo, biomassa total verde, biomassa total seca e grau brix de cana energia em função do tipo de solo e dos tratamentos.

Teste F							
Causa Variação	Altura	Diâmetro	Perfilhos	Colmo	Biomassa Verde	Biomassa Seca	Brix
Tratamento	6,82**	8,43**	25,75**	21,9**	18,29**	18,3**	13,23**
Solo	2,03 ^{ns}	4,09*	186,15**	89,69**	89,79**	81,79**	11,09**
Solo*Tratamento	13,46**	16,72**	2,76*	0,54 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,81 ^{ns}	1,31 ^{ns}
CV (%)	15,5	11,31	34,80	26,12	26,45	25,75	12,48

Obs. ** - significativo a 1 % e ns – não significativo

O efeito residual da aplicação de doses de biofertilizante no solo promoveu incremento com ajuste linear na variável altura de plantas aos 180 dias após o corte (DAC). Houve um ajuste significativo quadrático nas avaliações de 120, 150, 210 e 240 DAC para as doses de biofertilizante. Na avaliação de 240 DAC derivando a função dada pela equação que descreve a curva de altura de plantas foi obtida a dose de $1100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ que permite maior crescimento em altura da cana energia.

O tratamento NPK aos 240 DAC apresentou uma média de 111,50 cm, enquanto que nas doses de 600 e $1200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ as médias de altura foram de 143,75 e 141,50 cm observando um incremento de altura de 22,43 e 21,20 para as doses em relação ao NPK. A dose de $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ quando comparada com o tratamento que não recebeu biofertilizante apresenta um incremento de altura de 12,87%. As duas doses que apresentaram maior altura também foram as que mais produziram biomassa total verde em ambos os solos (Figuras 27 e 28). Em relação a avaliação aos 240 DAC comparando a altura da cana planta

e cana soca I, observa-se valores semelhantes variando de 120 a 140 cm aproximadamente.

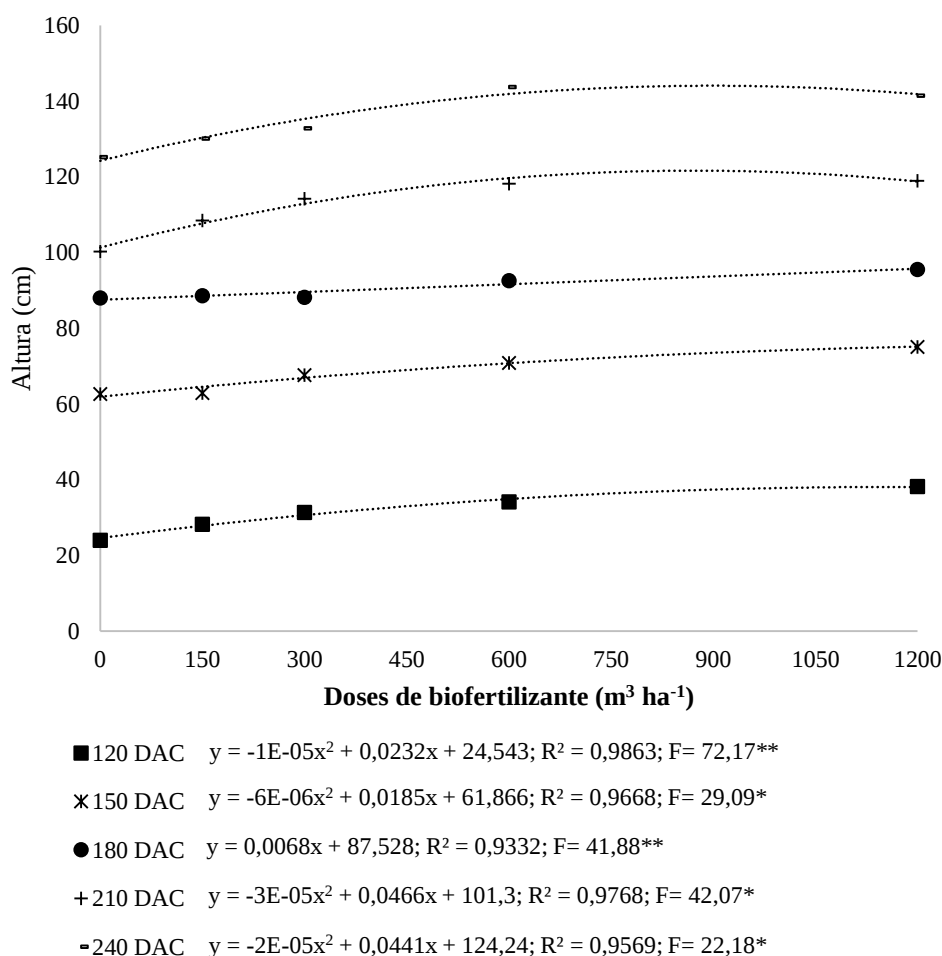


Figura 20. Altura de plantas (cm) em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia soca I. ^{ns}, * e ** – não-significativo à 5%; significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

A importância do biofertilizante no crescimento de plantas não se deve aos valores quantitativos dos seus componentes químicos que, geralmente é baixa, mas no aspecto qualitativo, presente na diversidade de nutrientes (Faquin, 1994). Além dos biofertilizantes serem mais baratos de produzir que os fertilizantes químicos, os custos de produção são menores e ainda permitem aumentar, na maioria dos casos, o rendimento das culturas e reduzir o uso de fertilizantes químicos (Martínez et al., 2013). As substâncias húmicas contidas no biofertilizante promovem maior absorção de nutrientes o que proporciona melhor crescimento de plântulas tanto em função da altura como do diâmetro (Soares et al., 2014).

O efeito residual da aplicação de biofertilizante na cana energia no LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico promoveu um incremento no diâmetro do colmo das plantas com ajuste linear nas avaliações 150, 180, 210 e 240 dias após o corte (DAC) (Figura 21).

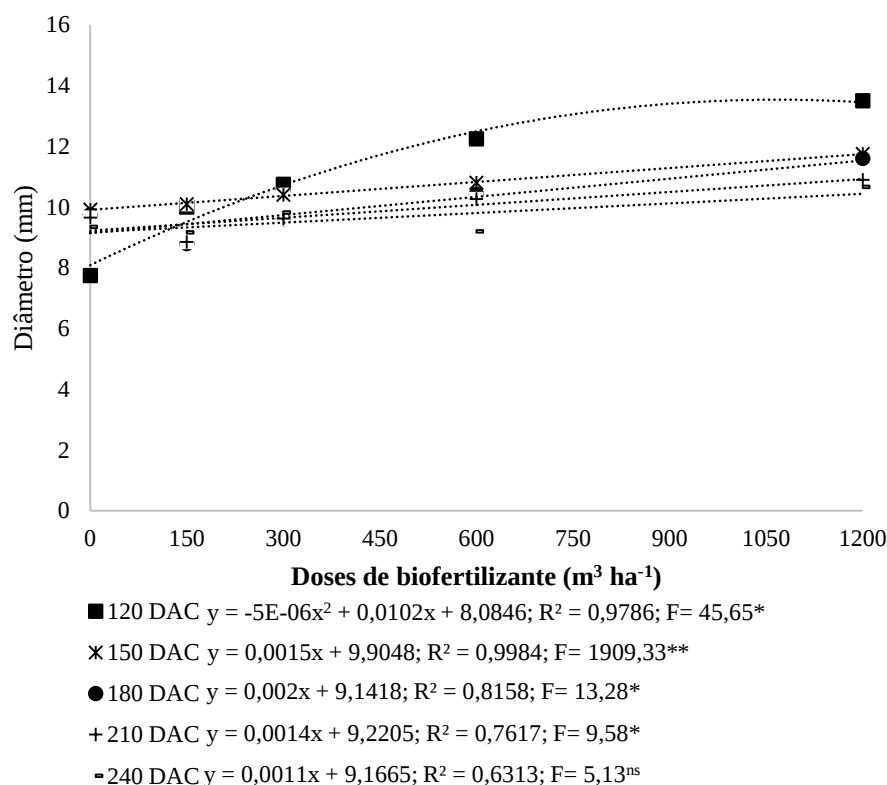


Figura 21. Diâmetro do colmo (mm) em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia soca I cultivada em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico. ^{ns}, * e ** – não-significativo à 5%; significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Em relação ao diâmetro de colmos, o efeito residual da aplicação do biofertilizante no LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico na avaliação de 210 DAC na dose zero em comparação com a dose 600 m³ ha⁻¹ apresentou um incremento de 6,04%. Já o tratamento NPK, que apresentou uma média de 7,75 mm, quando comparado com a dose 600 m³ ha⁻¹ obtém-se um decréscimo de 25 %.

No estudo realizado para avaliar a influência da aplicação do efeito residual do biofertilizante no diâmetro do colmo (DC) no LATOSSOLO VERMELHO Ácrico houve um ajuste significativo quadrático para as doses avaliadas aos 150 e 210 DAC (Figura 22). O diâmetro do colmo na avaliação de 210 DAC variou de 9,62 mm até 9,97 mm. Para o tratamento NPK a média do diâmetro do colmo foi de 10,02 mm. Derivando a função dada pela equação que descreve a curva de diâmetro do colmo aos 210 DAC foi estimada a dose

de 5000 m³ ha⁻¹ que permite maior DC. Comparando a dose de 1200 m³ ha⁻¹ com a dose zero na avaliação de 210 DAC obtém-se um incremento no DC de 3,51%.

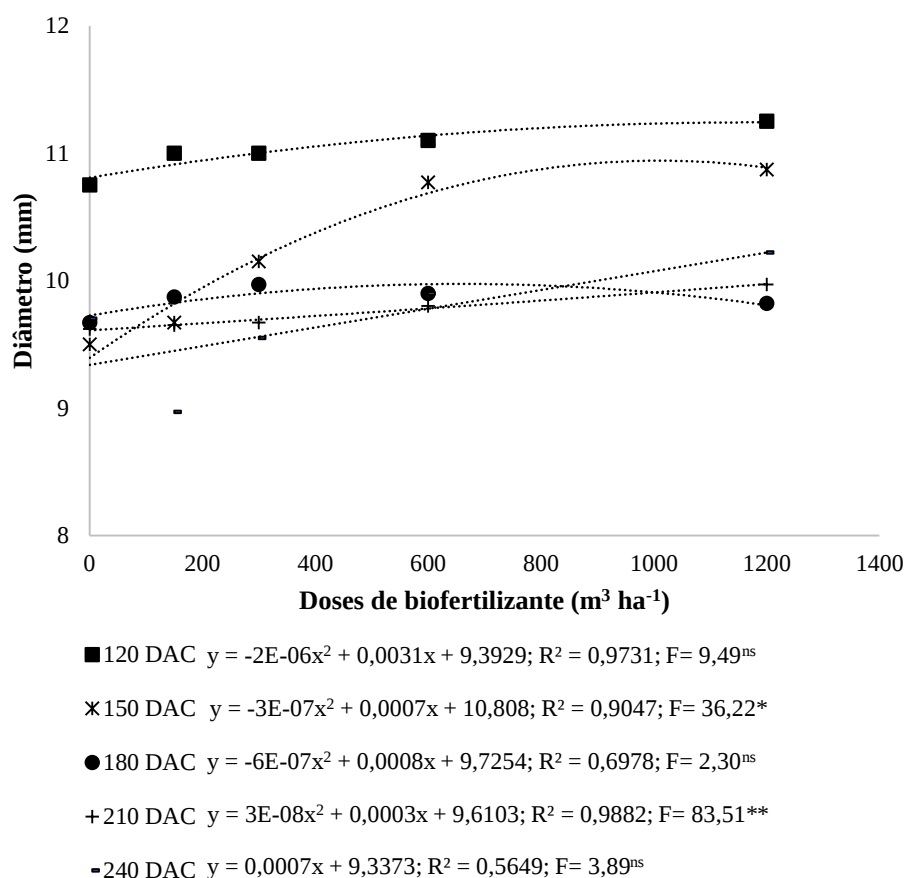


Figura 22. Diâmetro do colmo (mm) em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia soca I cultivada em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico. ^{ns}, * e ** – não-significativo à 5%; significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Para a variável número de perfilhos na cana energia no LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico, observa-se efeito significativo, com ajuste quadrático, para avaliações realizadas aos 120, 150, 180 e 210 DAC, os quais atingiram aos 120 DAC aproximadamente 23 perfilhos por vaso na dose de 1200 m³ ha⁻¹, representando um incremento de 7,67 vezes mais em relação a dose zero (Figura 23). Nobile et al (2011) trabalhando com biofertilizante na cana de açúcar observaram que o tratamento que recebeu biofertilizante obteve um incremento de 39% de número de perfilhos em relação ao tratamento controle no qual não foi aplicado o biofertilizante.

Quando avaliada a influência do efeito residual do biofertilizante na produção de biomassa total verde observa-se que as maiores doses (600 e 1200 m³ ha⁻¹) foram as mais produtivas, sendo observado mesmo comportamento em relação a variável número de

perfilhos que correspondem também as mesmas doses, ou seja onde a planta perfilhou mais obteve-se as maiores produtividades. Na avaliação aos 210 DAC derivando a função dada pela equação que descreve a curva de número de perfilhos foi estimada a dose de 2350 m³ ha⁻¹ que permite maior perfilhamento da cana energia.

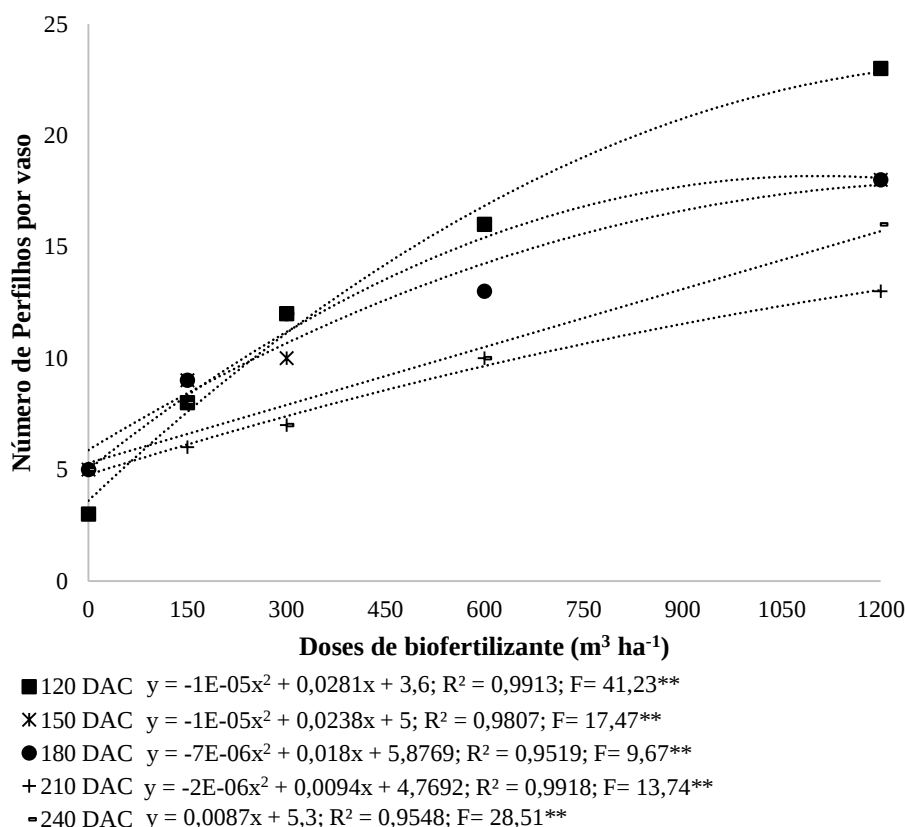


Figura 23. Número de perfilhos por vaso em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia soca I cultivada em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico. ^{ns}, * e ** – não-significativo à 5%; significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

O efeito residual da aplicação de biofertilizante no LATOSSOLO VERMELHO Ácrico afetou a variável biométrica número de perfilho. Para avaliações realizadas aos 120 e 240 DAC, os quais atingiram aproximadamente 38 e 20 perfilhos por vaso, representando um incremento de 100% para ambas as doses, respectivamente, quando comparado com o tratamento controle (dose 0). Na avaliação aos 240 DAC derivando a função dada pela equação que descreve a curva de número de perfilhos foi estimada a dose de 2800 m³ ha⁻¹ que permite maior número de perfilhos da cana energia. O comportamento do perfilhamento da cana-de-açúcar, apresenta um pico de produção de perfilhos no período de desenvolvimento da cultura com queda progressiva até a colheita, provavelmente esse efeito

é consequência da maior competição intraespecífica, principalmente em relação a radiação solar (Marin et al., 2009).

Observando os dados de produtividade de biomassa total verde deste solo (Figura 28), e comparando com os dados de perfilhos, nota-se que nas doses de 600 e 1200 m³ ha⁻¹ foram as que obtiveram maiores produtividades e também maior número de perfilhos por vaso.

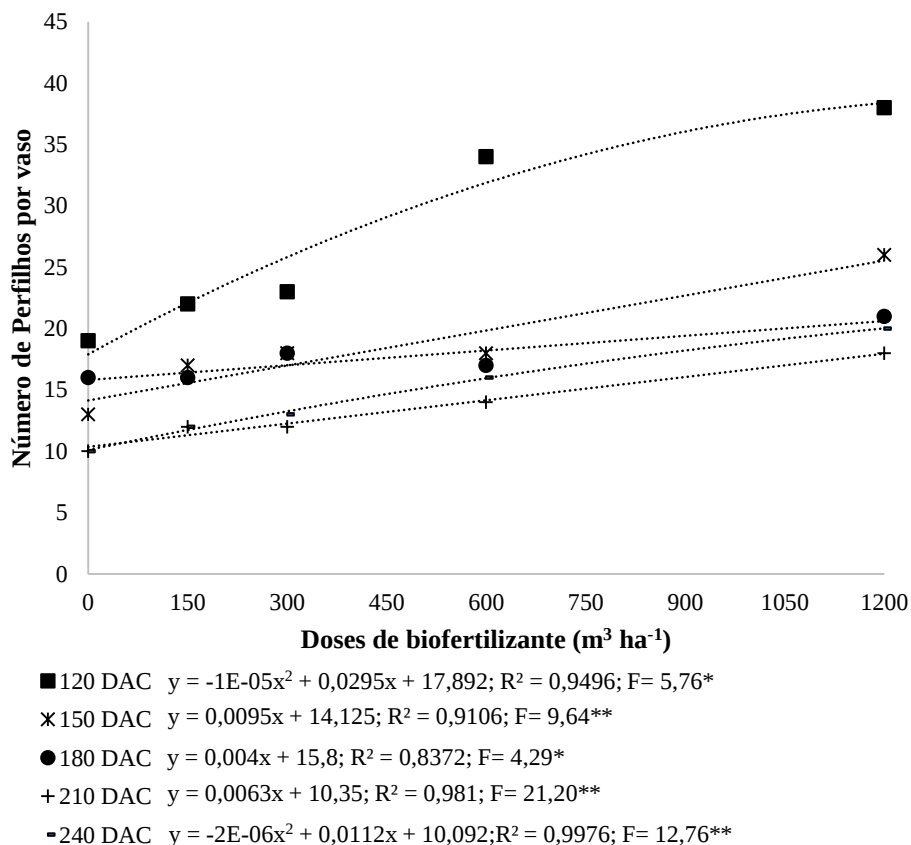


Figura 24. Número de perfilhos por vaso em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia soca I cultivada em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico. ^{ns}, * e ** – não-significativo à 5%; significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

4.2.2 PRODUÇÃO DE BIOMASSA TOTAL SECA, VERDE, PRODUTIVIDADE DE COLMOS E BRUX

A produtividade de biomassa total seca no LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico está apresentada na Figura 25, e esta foi influenciada pelo efeito residual da aplicação do biofertilizante. Nas doses 600 e 1200 m³ ha⁻¹ foram as médias de 476,20 e 798,88 g vaso⁻¹, e na dose controle sem aplicação de biofertilizante, a média foi de 177,62 g vaso⁻¹. Comparando-se a dose de 1200 m³ ha⁻¹ com o tratamento controle observa-se um incremento de 4,5 vezes na produtividade. Já o tratamento NPK apresentou uma média

de 197,0 g vaso⁻¹. Em relação a dose de 1200 m³ ha⁻¹ ocorre um acréscimo de produtividade 4,06 vezes para a maior dose do biofertilizante comparado ao NPK. As doses mais produtivas também foram as que apresentaram maior números de perfilhos por vaso (Figura 23).

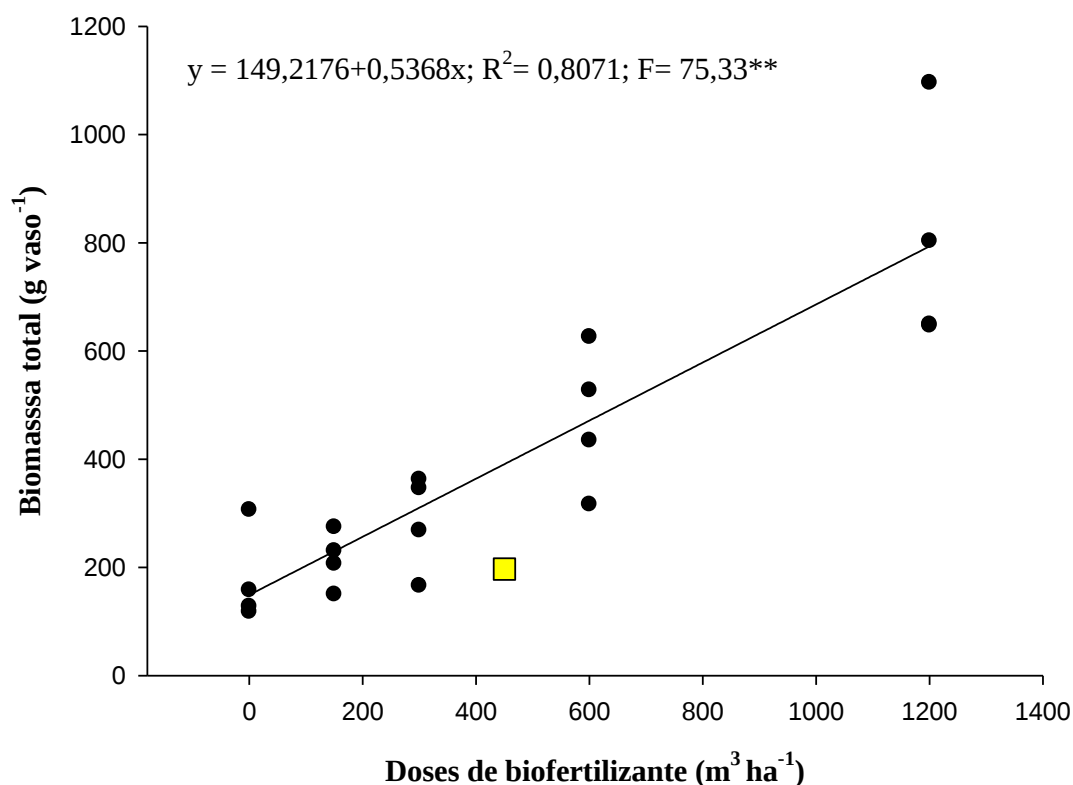


Figura 25. Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de Biomassa Total seca de cana energia soca I em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico. Média NPK. ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

Analisando o efeito residual das doses de biofertilizante sobre a produtividade de biomassa total seca na cana energia em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico, observa-se que houve resposta significativa (Figura 26). As doses 600 e 1200 m³ ha⁻¹ apresentaram valores médios de 814,97 e 1044,97 g vaso⁻¹, e o tratamento controle, no qual não foi aplicado o biofertilizante, apresentou média de 535,75 g vaso⁻¹. O tratamento NPK obteve uma média de produtividade de 546,48. Comparando as doses 600 e 1200 m³ ha⁻¹ com o tratamento NPK observam-se incrementos de 32,94 e 47,70% de produção total de biomassa.

Derivando a função dada pela equação que descreve a curva de produtividade de biomassa foi estimada na dose de 2756 m³ ha⁻¹ que permitirá maiores índices de produtividade. Ressalta-se que estas diferenças mostram que houve efeito residual do biofertilizante nas doses. Nobile et al (2011) avaliando efeito do biofertilizante na cana de

açúcar observaram um incremento de produção de matéria seca de parte aérea em relação a testemunha (sem biofertilizante) de 20 %, o mesmo comportamento observado no presente estudo.

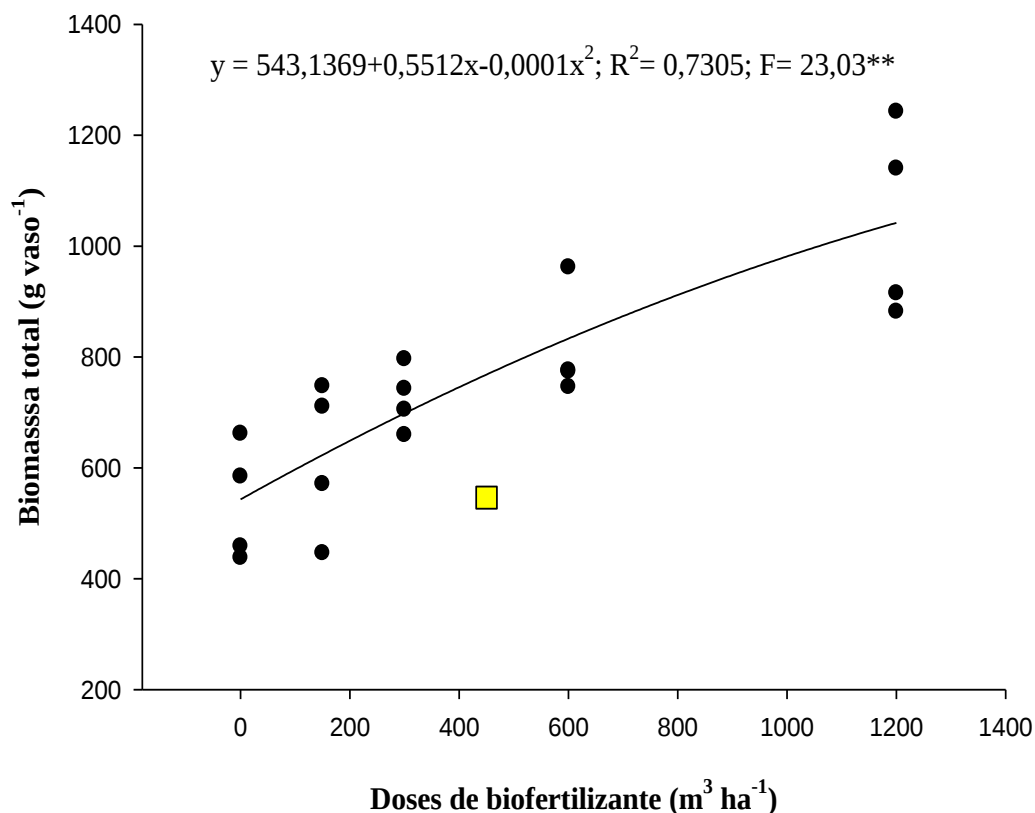


Figura 26. Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de Biomassa Total seca de cana energia soca I em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico. ■ Média NPK. ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

O efeito residual da aplicação das doses de biofertilizante no solo promoveu incremento linear na produtividade de biomassa total verde da cana energia (Figura 29), aos 18 meses após a aplicação no LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico. A produtividade de biomassa variou de 300, 35 g vaso⁻¹ para o tratamento controle e 1560 g vaso⁻¹ para a dose de 1200 m³ ha⁻¹. O tratamento NPK atingiu uma média de 363,65 g vaso⁻¹.

Observando a análise química do biofertilizante (Tabela 3), nota-se que o mesmo apresenta o maior valor no teor de potássio em relação aos outros macronutrientes. O potássio é o macronutriente requerido em maior quantidade pela cana de açúcar (Malavolta, 1994). Portanto a alta extração deste nutriente do solo provocado pelas colheitas da cana-de-

açúcar, aliada à taxa de lixiviação no perfil, sendo que o solo em estudo apresenta a seguinte granulometria: argila: 160 g kg⁻¹ ; silte: 140 g kg⁻¹ ; areia: 700 g kg⁻¹, são fatores que podem potencializar ainda mais a redução no teor de potássio disponível no solo e consequentemente redução da produtividade levando em consideração que esta avaliação foi feita sob condições de efeito residual (Rosolem et al., 2006).

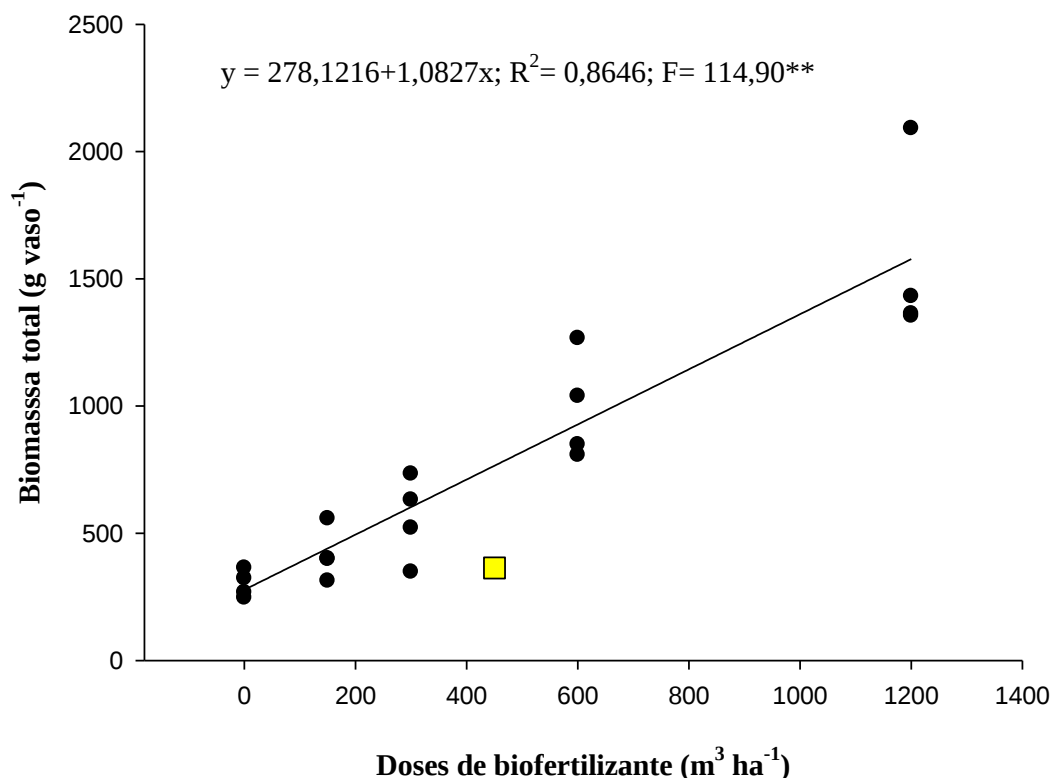


Figura 27. Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de Biomassa Total verde de cana energia soca I em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico. ■ Média NPK. ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

O efeito residual da aplicação de doses de biofertilizante no solo promoveu incremento na produtividade total de biomassa verde no LATOSSOLO VERMELHO Ácrico (Figura 28). As doses 600 e 1200 m³ ha⁻¹ apresentaram as seguintes médias 1744,64 e 2276,15 g vaso⁻¹. Já o tratamento controle foi de 1029,74 g vaso⁻¹. Para o tratamento NPK a média 1135,43 g vaso⁻¹, foi semelhante ao tratamento controle evidenciando que o efeito residual do NPK não foi tão eficiente quanto as doses de biofertilizante. Comparando-se as doses 600 e 1200 m³ ha⁻¹ com o tratamento NPK observa-se incrementos de 35 e 50, 13 % de produção de biomassa total verde.

Derivando a função dada pela equação que descreve a curva de produtividade de biomassa foi estimado que a dose de 2288,83 m³ ha⁻¹ permitirá a máxima produtividade de

biomassa verde. Nobile et al (2011) aplicando biofertilizante na cana de açúcar observaram incrementos significativos na produção de parte aérea total quando comparado com o tratamento controle, sem aplicação de biofertilizante.

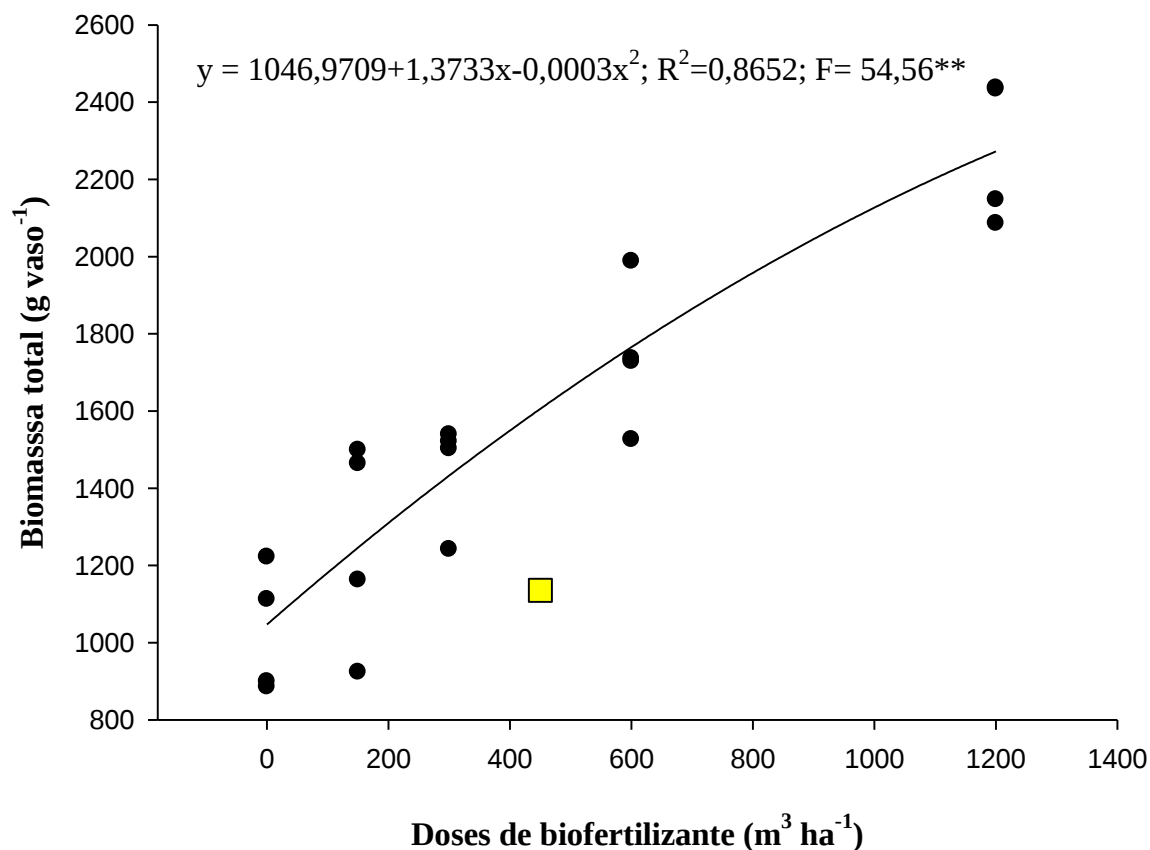


Figura 28. Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de Biomassa Total verde de cana energia soca I em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico. Média NPK. *** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

Foi observado efeito linear na produção de colmos em função do efeito residual da aplicação de biofertilizante no LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico, os quais apresentaram uma média de produção na dose $600 m^3 ha^{-1}$ de $652,55 g vaso^{-1}$ e na de $1200 m^3 ha^{-1}$ de $1081,80 g vaso^{-1}$. Para o tratamento NPK foi observado uma média de $193,30 g vaso^{-1}$, e no controle foi observado uma média de $200,60 g vaso^{-1}$. Em relação aos incrementos das doses 600 e $1200 m^3 ha^{-1}$ comparados com NPK obteve-se uma produtividade de colmos 3,2 e 5,6 vezes maior em relação ao tratamento NPK.

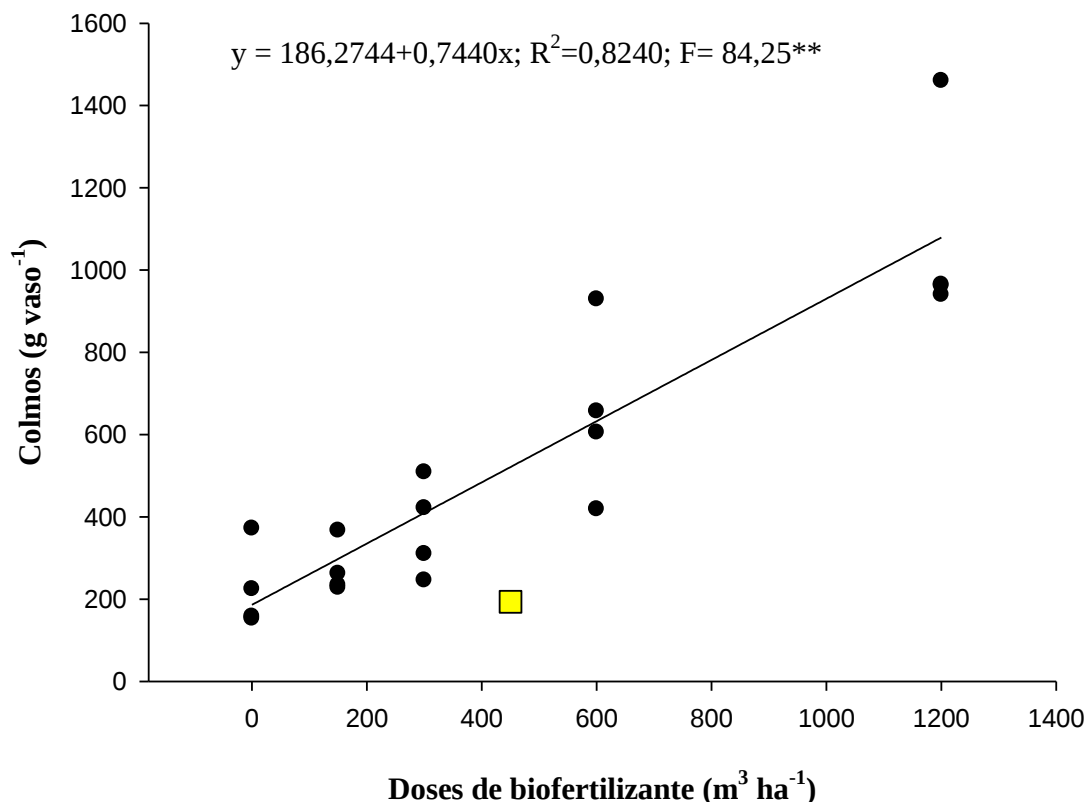


Figura 29. Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de colmos da cana energia soca I em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico. ■ Média NPK. ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

A produção de colmos da cana energia foi influenciada pelo efeito residual da aplicação de biofertilizante no solo apresentando um ajuste linear (Figura 30). A dose de 1200 m³ ha⁻¹ com produtividade de colmos de 1535,27 g vaso⁻¹, representa um incremento de 2,3 vezes na produtividade em relação a dose zero. A produtividade média do tratamento NPK foi de 738,90 g vaso⁻¹ de colmos. O tratamento NPK produziu em relação ao controle apenas 60 g vaso⁻¹, já a dose de 1200 m³ ha⁻¹ em relação ao NPK produziu 796,37 g vaso⁻¹ a mais de colmo, ou seja o dobro da produção NPK.

Soobadar & Kwong (2012), avaliando o efeito da vinhaça em cana de açúcar observaram que em geral, uma taxa de aplicação de vinhaça a 100 m³ ha⁻¹ produz melhor rendimento de cana do que fertilizantes minerais. Corroborando com Yang et al (2006), que também relatam que a aplicação da vinhaça melhorou o rendimento da cana de açúcar quando comparada com o fertilizante mineral. O biofertilizante do presente estudo também se assemelha ao comportamento da vinhaça na variável produção.

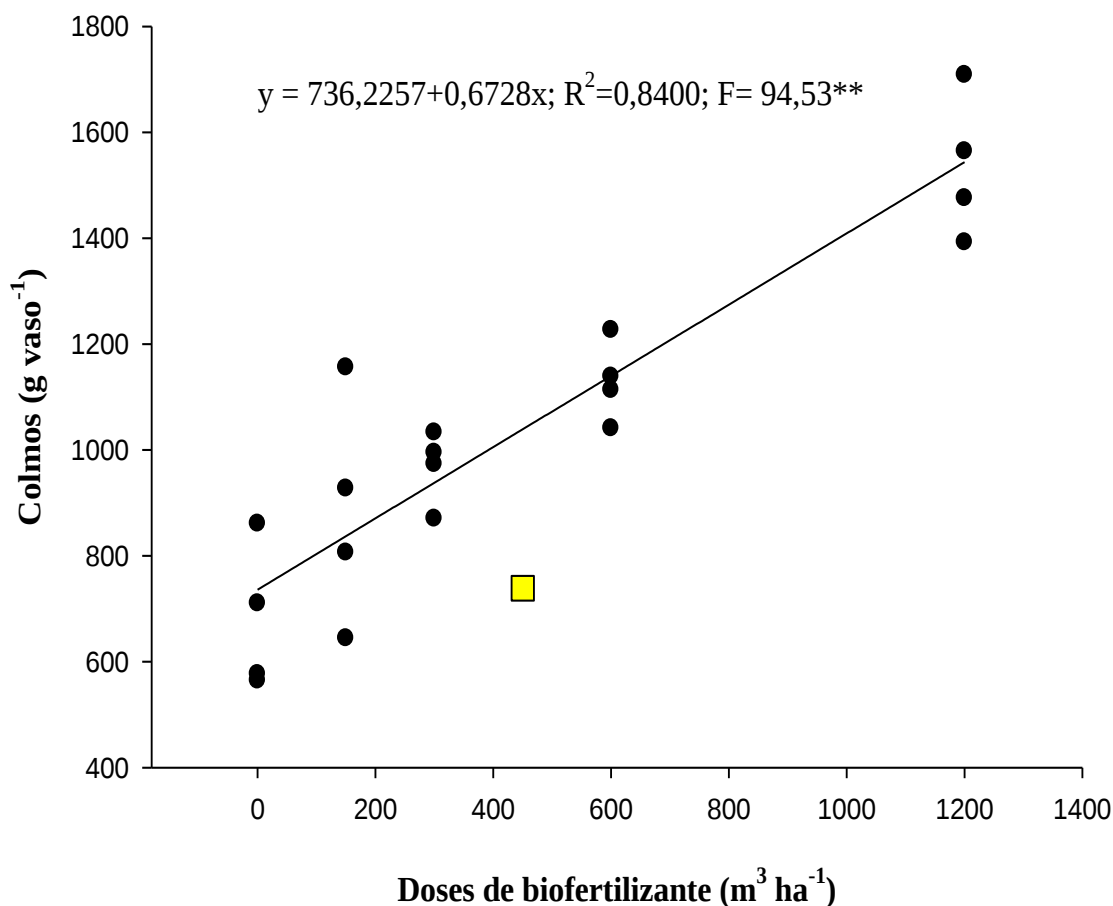


Figura 30. Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de colmos da cana energia soca I em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico. ■ Média NPK. ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

O aumento do teor de sólidos solúveis na cana energia no LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico apresentou diferença significativa entre as doses (Figura 31). As doses 600 e 1200 m³ ha⁻¹ apresentaram as médias de 14 e 15%, respectivamente. O tratamento controle e o NPK obtiveram as médias de 8 e 11%. Derivando a função dada pela equação que descreve o teor de sólidos solúveis foi obtida a dose de 958,70 m³ ha⁻¹ que permite maior valor de teor de sólidos solúveis. Para Fernandes (1985) no estágio de maturação da cana de açúcar com relação ao grau Brix, o valor ideal para considerá-la madura é de, no mínimo, 18,0% durante todo o decorrer da safra. Porém a variedade em estudo é voltada para a produção de biomassa e o teor de sólidos solúveis não é um fator determinante para realização da colheita.

Observando as doses 600 e 1200 m³ ha⁻¹ comparadas com o tratamento NPK observa-se incrementos de 21,42 e 27% para o teor de sólidos solúveis da cana energia.

Portanto para as mesmas doses comparadas com o tratamento controle observam-se incrementos de 43 e 47% para grau Brix.

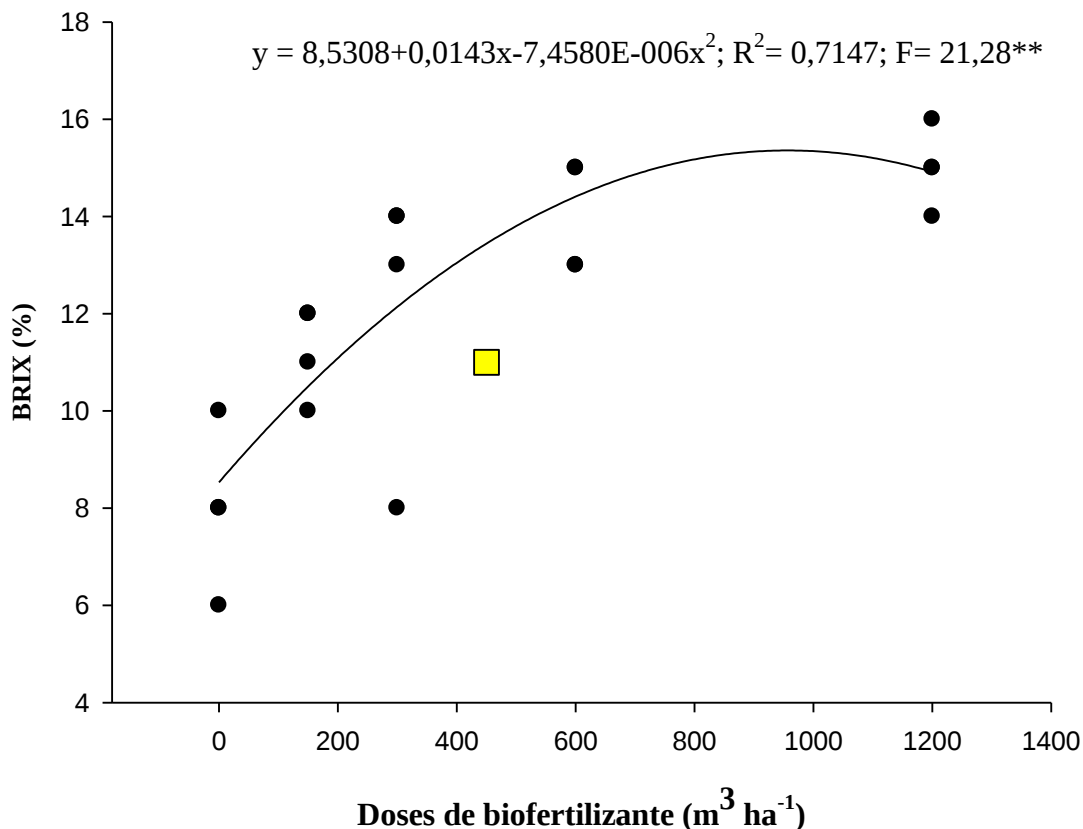


Figura 31. Teor de Brix do caldo em função da aplicação de biofertilizante na cana energia soca I em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico. ■ NPK ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

O efeito residual do biofertilizante no solo promoveu incremento nos teores de sólidos solúveis na cana energia no LATOSSOLO VERMELHO Ácrico (Figura 32). No estudo obteve-se efeitos quadráticos, e para as doses de 600 e 1200 m³ ha⁻¹ foram encontradas médias de 14,75 e 15,5 %. Derivando a função dada pela equação que descreve o teor de sólidos solúveis foi obtida a dose de 915,65 m³ ha⁻¹ que permite maior valor de teor de sólidos solúveis. Observando-se a dose obtida para o LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico (958,70 m³) nota-se uma proximidade de doses entre os dois solos.

Comparando as doses 600 e 1200 m³ ha⁻¹ com o tratamento controle (11,25 %) nota-se um incremento de 24 e 27% para o teor de sólidos solúveis da cana energia. O tratamento NPK apresentou uma média de 12%, comparado com as doses citadas acima houve incrementos de 19 e 22,5%. A média do tratamento NPK com o controle apresentaram-se bastante semelhantes.

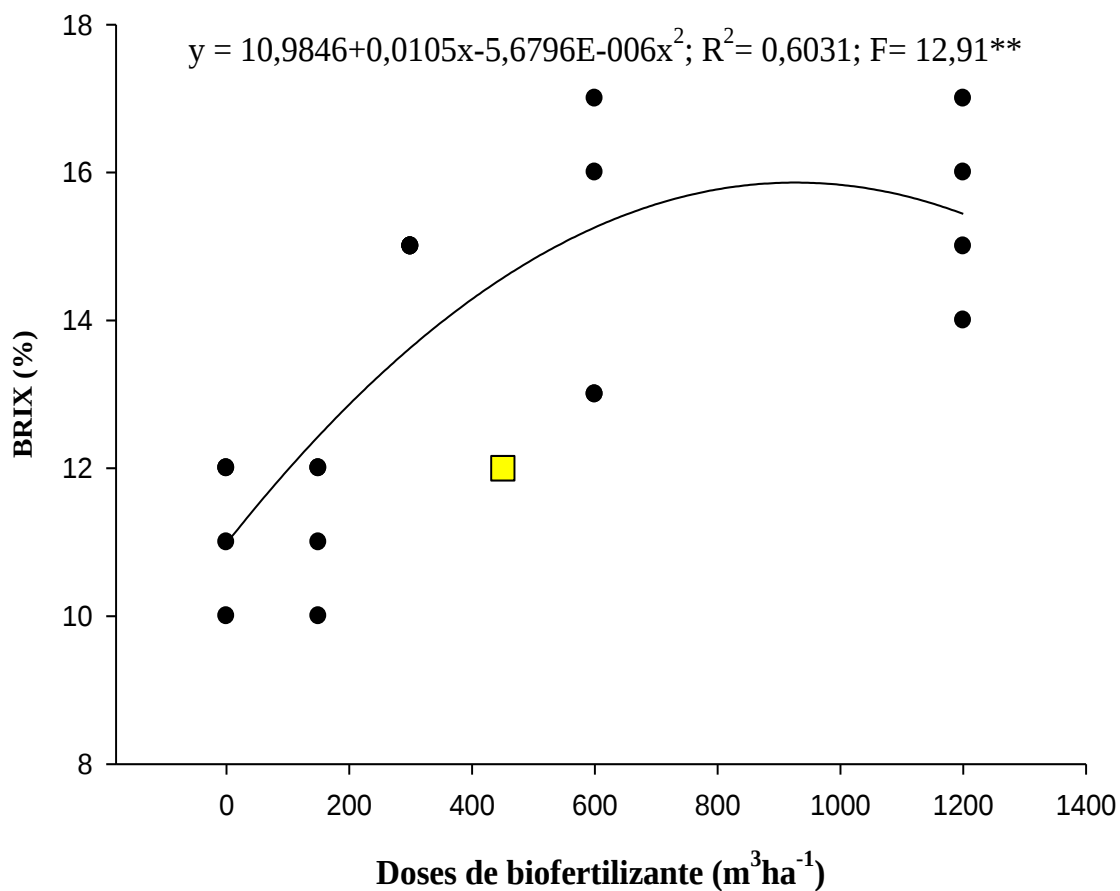


Figura 32. Teor de Brix do caldo em função da aplicação de biofertilizante na cana energia soca I em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico. NPK ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

4.2.3 FERTILIDADE DO SOLO

A aplicação de biofertilizante na cana energia afetou os teores fósforo, potássio, cálcio, e saturação por bases para os tratamentos (Tabela 9). O teor de matéria orgânica, pH, fósforo, cálcio, magnésio, alumínio, capacidade de troca de cátions e saturação por bases variaram de modo significativo em relação ao tipo de solo. Já na interação solo versus tratamento não foi observada nenhuma diferença significativa para os atributos químicos do solo (Tabela 9).

Tabela 9. Análise de variância dos atributos químicos do solo: matéria orgânica (MO), pH, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), capacidade de troca de cátions (CTC) saturação por bases (V%) na cana energia em função do tipo de solo e dos tratamentos.

Causa de Variação	Teste F								
	MO	pH	P	K	Ca	Mg	Al	CTC	V%
Tratamento	0,20 ^{ns}	1,73 ^{ns}	8,37**	3,10*	2,67*	2,40 ^{ns}	0,88 ^{ns}	1,62 ^{ns}	3,22*
Solo	71,78**	65,85*	21,99**	0,71 ^{ns}	6,92*	8,04**	5,03*	121,23**	15,19**
Solo*Tratamento	1,58 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,63 ^{ns}	1,51 ^{ns}	1,95 ^{ns}	0,31 ^{ns}	1,63 ^{ns}	1,80 ^{ns}
CV (%)	21,25	5,95	55,91	60,96	28,37	30,73	247,16	13,04	18,29

Obs. ** - significativo a 1 %; * - significativo a 5% e ns – não significativo

4.3 CANA ENERGIA SOCA II

4.3.1 ALTURA DE PLANTAS, DIÂMETRO DO COLMO E NÚMERO DE PERFILHOS

O residual da adubação com biofertilizante influenciou o crescimento da cana energia soca II (Tabela 10). Para tratamento apresentou diferença significativa para as seguintes variáveis altura, diâmetro, perfilhos, colmo e biomassa verde. No solo apresentou diferenças significativas para altura, perfilhos, colmo e biomassa verde.

Tabela 10. Análise de variância para altura, diâmetro, perfilhos, colmo, biomassa total verde, de cana energia em função do tipo de solo e dos tratamentos.

Causa Variação	Teste F				
	Altura	Diâmetro	Perfilhos	Colmo	Biomassa Verde
Tratamento	8,84**	10,09**	32,98**	3,47*	4,59**
Solo	26,05**	0,15 ^{ns}	453,5**	16,14**	34,28**
Solo*Tratamento	3,29**	5,85**	11,56**	1,49 ^{ns}	0,87 ^{ns}
CV (%)	32,92	14,39	22,83	30,84	26,96

Obs. ** - significativo a 1 %, * - significativo a 5% e ns – não significativo

O efeito residual da aplicação de doses de biofertilizante no LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico não teve efeito significativo sobre a altura de plantas nas avaliações realizadas aos 120, 150, 180, 210 e 240 DAC da soqueira da cana energia (Figura 33). Na avaliação realizada aos 240 DAC foram obtidas médias 82,1 e 91,3 cm para as doses de 600 e 1200 m³ ha⁻¹. Para o tratamento NPK e o controle foram observadas as seguintes médias 85,8 e 60,0 cm. Este comportamento de ausência de diferenças

significativas entre as doses esta associado ao fato do efeito residual do biofertilizante não estar sendo eficaz na cana soca II para este tipo de solo.

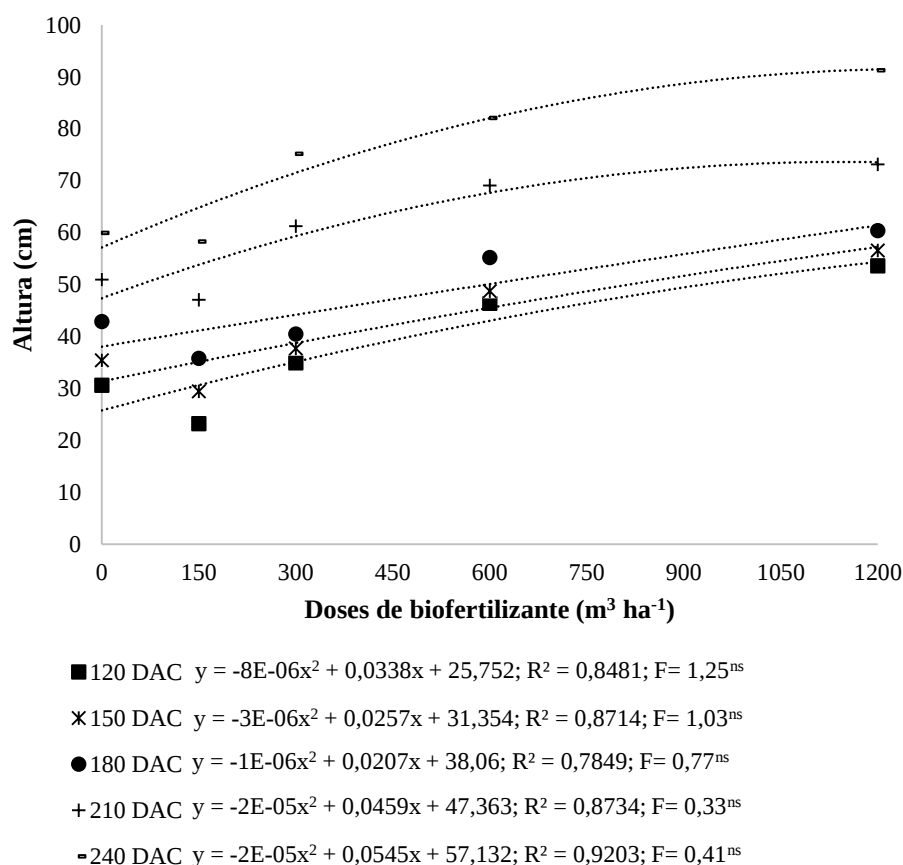


Figura 33. Altura de plantas (cm) em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia soca II cultivada em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico. ^{ns}, * e ** – não-significativo à 5%; significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Entre as alturas finais das plantas (240 DAC), no LATOSSOLO VERMELHO Ácrico, não foram observadas diferenças significativas entre as doses (Figura 34). Apenas na avaliação aos 120 DAC que apresentou diferenças significativas entre as doses, provavelmente devido a planta estar no estágio de desenvolvimento mais intenso. O índice de área foliar aumenta rapidamente do terceiro ao sexto mês de desenvolvimento, prenunciando alta produção de fotoassimilados e início do acúmulo de sacarose (Casagrande, 1991).

Na avaliação aos 240 DAC as doses 600 e 1200 m³ ha⁻¹ apresentaram as seguintes médias de altura 125,02 e 102,07 cm. Já o tratamento NPK e o controle apresentaram as médias de 100,6 e 96,55 cm. Derivando a função dada pela equação que

descreve a curva de altura de plantas na avaliação de 150 DAC foi obtida a dose de 850,00 m³ ha⁻¹ que permite maior altura de plantas.

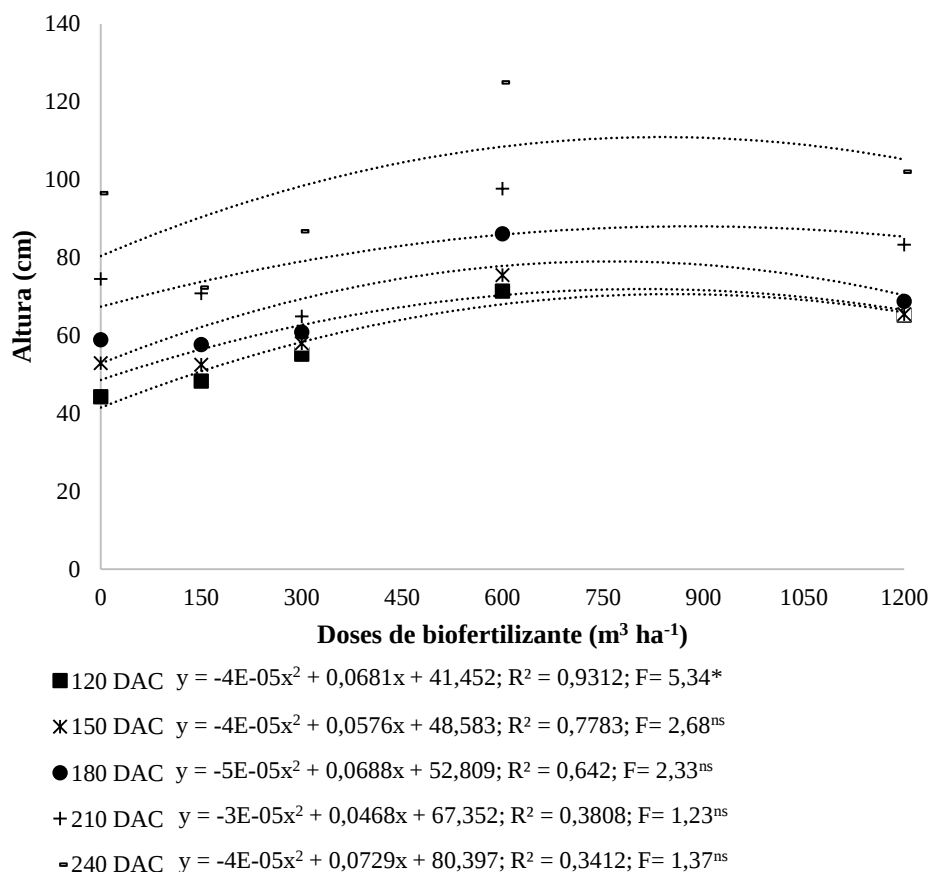


Figura 34. Altura de plantas (cm) em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia soca II cultivada em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico. ^{ns}, * e ** – não-significativo à 5%; significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

O efeito residual da aplicação do biofertilizante não apresentou diferenças significativas nas avaliações realizadas aos 120, 180, 210 e 240 DAC para a variável diâmetro (Figura 35). E não foi observado para a variável diâmetro diferença entre os solos. No entanto, observa-se que na avaliação aos 240 DAC para as doses 600 e 1200 m³ ha⁻¹ foi atingido uma média de diâmetro de 9,75 e 10,05 mm para essas duas doses. Já para o tratamento NPK e para o controle as medias observadas foram 10,00 e 8,73 mm.

O aumento nas doses de biofertilizante na avaliação 150 DAC ocasionou incrementos quadráticos. Derivando a função dada pela equação que descreve a curva de diâmetro do colmo na avaliação de 150 DAC foi estimada a dose de 1600,00 m³ ha⁻¹ que permite maior diâmetro. Nobile et al. (2011), avaliando aplicação de biofertilizante na cana

de açúcar observaram que para a variável diâmetro o biofertilizante apresentou resultados inferiores a adubação mineral porem superiores ao tratamento controle (sem biofertilizante).

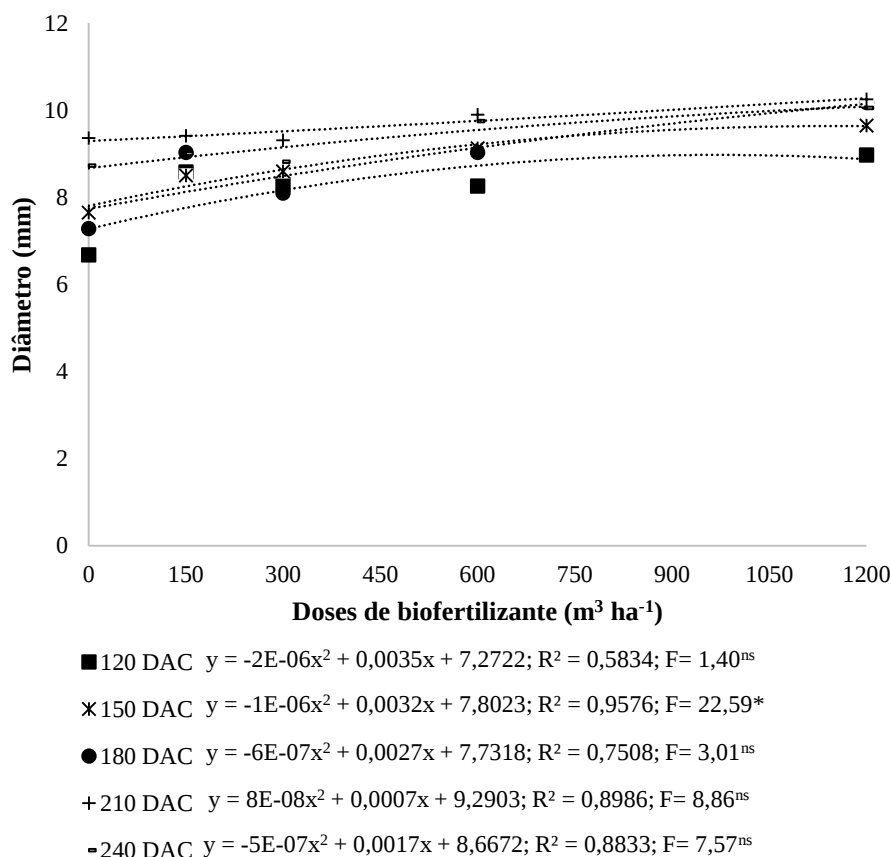


Figura 35. Diâmetro do colmo (mm) em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia soca II. ^{ns}, * e ** – não-significativo à 5%; significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Para a variável número de perfilhos no LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico, observa-se efeito significativo, com ajuste quadrático, para avaliações realizadas aos 120 e 180 DAC, e na avaliação de 240 DAC apresentou um ajuste linear. Para as avaliações 150 e 210 DAC o efeito residual das doses de biofertilizante não apresentou efeito significativo (Figura 36). Na avaliação aos 240 DAC a dose de 1200 m³ ha⁻¹ foi a que obteve a maior média de número de perfilhos por vaso (doze perfilhos). Já o tratamento controle e o NPK apresentaram sete e dez perfilhos por vaso.

O efeito residual de aplicação de doses de biofertilizante no LATOSSOLO VERMELHO Ácrico teve efeito significativo sobre o perfilhamento na cana energia (Figura 37), com exceção da avaliação realizada aos 180 DAC. Na avaliação realizada aos 240 DAC, a dose 1200 m³ ha⁻¹ apresentou a maior média de número de perfilhos por vaso, com 24 perfilhos. Nesta mesma data de avaliação o tratamento controle e NPK

apresentaram uma média de 13 e 14 perfilhos por vaso. Na avaliação de 150 DAC derivando a função dada pela equação que descreve a curva de perfilhos foi obtida a dose de 862,50 m³ ha⁻¹ que permite maior perfilhamento.

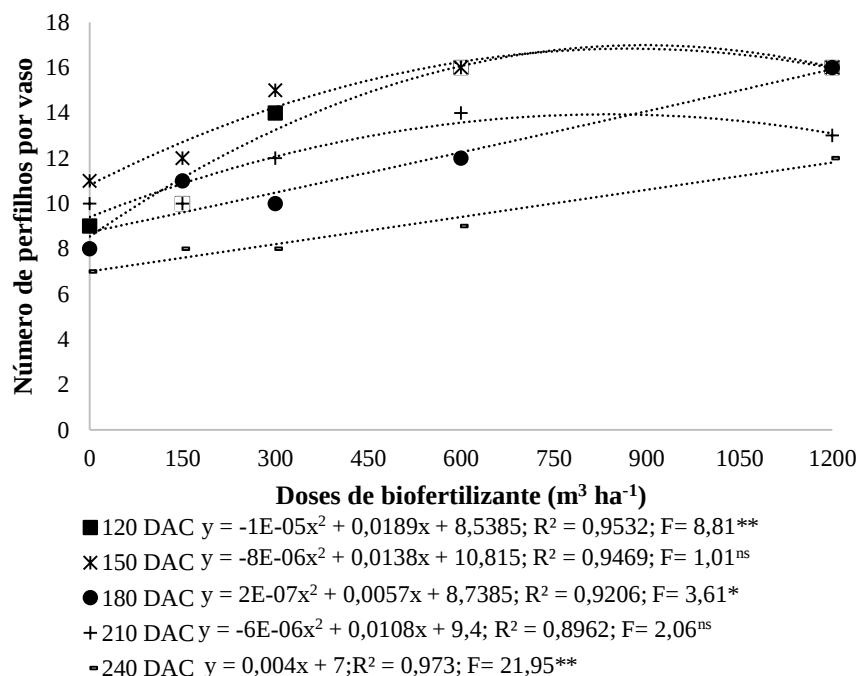


Figura 36. Número de perfilhos por vaso em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia soca II cultivada em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico. ^{ns}, * e ** – não-significativo à 5%; significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

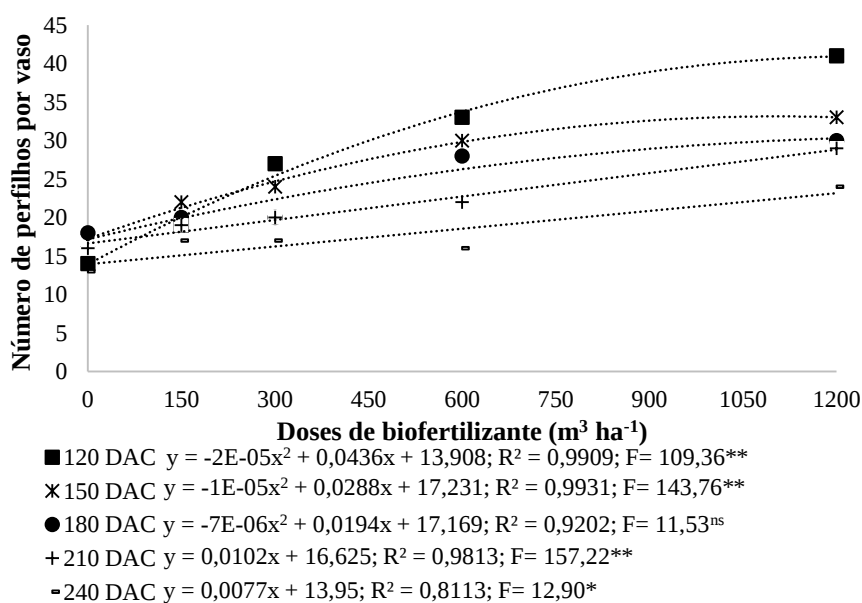


Figura 37. Número de perfilhos por vaso em função da época de avaliação e das doses de biofertilizante na cultura da cana energia soca II cultivada em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico. ^{ns}, * e ** – não-significativo à 5%; significativo a 5% e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

4.3.2 PRODUÇÃO DE BIOMASSA TOTAL VERDE E PRODUTIVIDADE DE COLMOS

O efeito residual da aplicação de doses de biofertilizante na soqueira da cana energia no LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico não promoveu um incremento para a produção de colmos (Figura 38). As doses 600 e 1200 m³ ha⁻¹ apresentaram as seguintes médias 398,27 e 421,35 g vaso⁻¹. E o tratamento controle e o NPK foram 273,23 e 243,37 g vaso⁻¹ de produção de colmos. Segundo Plucknet et al. (1970), uma das principais causas para o declínio da produção de cana em soqueiras sucessivas é o declínio no estado de nutrientes do solo. Os resultados obtidos na presente pesquisa corroborou os de Plucknet et al (1970), devido estar avaliando o efeito residual do biofertilizante na terceira safra, e considerando a extração de nutrientes das duas safras anteriores. Provavelmente devido a este fato não foram obtidas diferenças significativas entre as doses de biofertilizante.

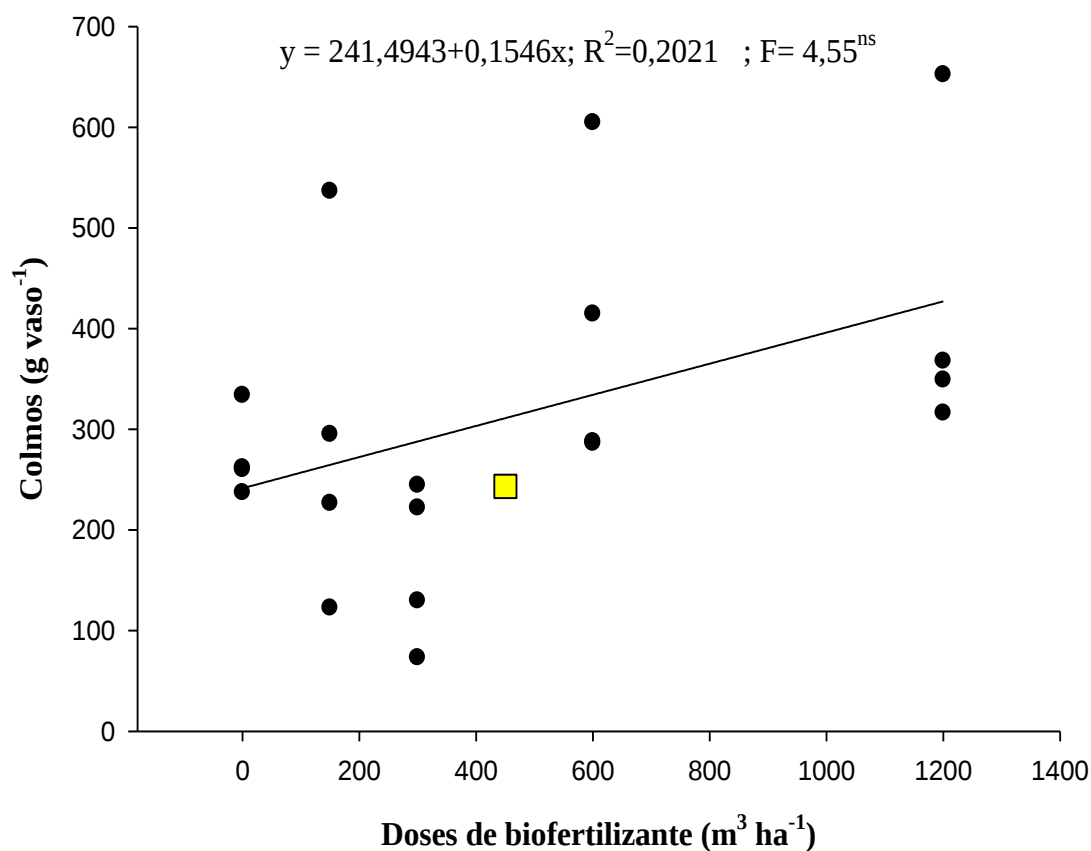


Figura 38. Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de colmos da cana energia soca II em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico. ■ Média NPK. ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

O efeito residual da aplicação de doses de biofertilizante no LATOSSOLO VERMELHO Ácrico não promoveu incrementos significativos na produção de colmos (Figura 39). O tratamento NPK e o controle apresentam médias de 345,23 e 462,95 g vaso⁻¹ e as doses 600 e 1200 m³ ha⁻¹ médias de produtividade de colmos de 488,80 e 464,34 g vaso⁻¹. Esses resultados eram esperados, pois o biofertilizante foi aplicado na cana planta sendo avaliado o seu efeito residual na cana soca I e na cana soca II. Na cana soca I foram encontrados resultados significativos para a produção de colmos e observou-se que quanto maior a dose do biofertilizante, maior o incremento linear na produtividade de colmos. Na cana soca II não foram observados estes resultados, indicando a necessidade de reaplicação do biofertilizante.

Esses resultados revelam a importância da nutrição mineral adequada em soqueiras de cana-de-açúcar para atingir alta produtividade. De acordo com Pancelli (2011), o teor de potássio nas folhas de 9,3 g kg⁻¹ que promoveu maior produção de colmos, de 127 t ha⁻¹. Observando os dados foliares da cana soca II na dose de 600 m³ ha⁻¹ encontra-se uma média de 2,5 g kg⁻¹, ou seja um teor bem abaixo do nível recomendado.

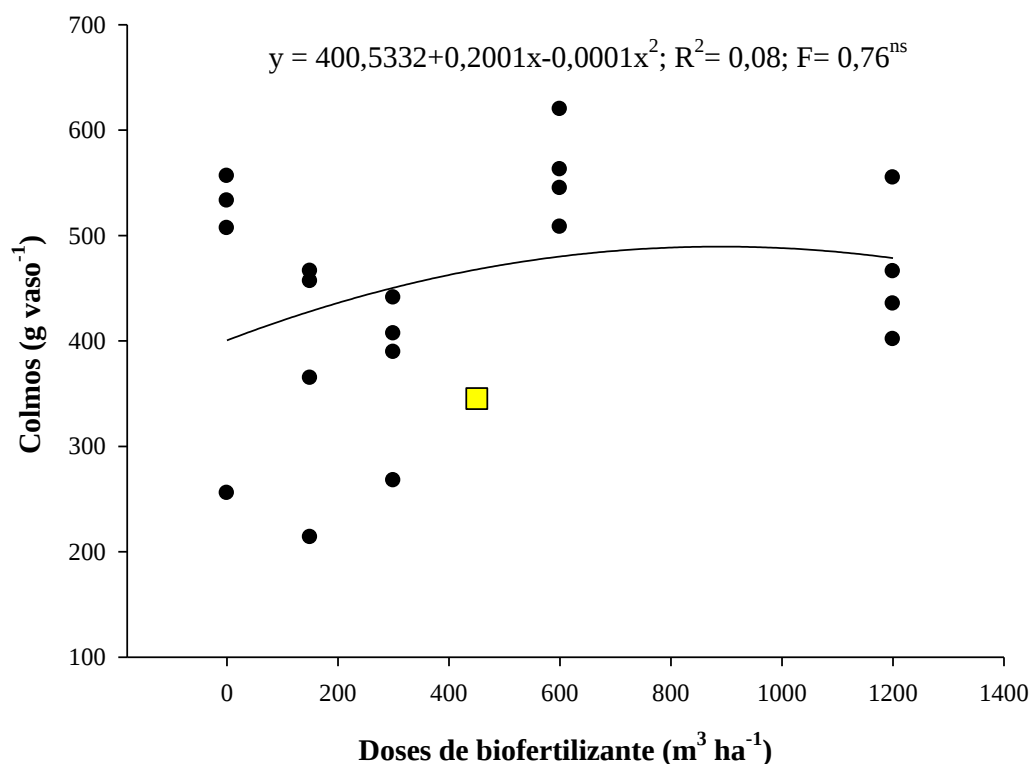


Figura 39. Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de colmos da cana energia soca II em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico. ■ Média NPK. ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

O efeito residual da aplicação de doses de biofertilizante na soqueira da cana energia causou efeito significativo na biomassa total verde no LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico (Figura 40). A aplicação do biofertilizante incrementou, com ajuste quadrático, embora com o valor médio do coeficiente de determinação relativamente baixo ($R^2 = 0,40$), indicando variabilidade dos resultados com pouca importância agrônômica.

Derivando a função dada pela equação que descreve a curva de biomassa total verde foi obtida a dose de $1028,62 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ que permite maior produtividade de biomassa. Porém nas doses 600 e $1200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ as produtividades obtidas foram 627,95 e 683,71 g vaso^{-1} . Já para o tratamento controle e o NPK as produtividades foram 286,22 e 421,28 g vaso^{-1} . Observando os teores foliares de potássio para este tipo de solo observa-se que se encontra abaixo do recomendado variando entre 1,80 a $4,40 \text{ g kg}^{-1}$. De acordo com Raij et al., (1996), o teor foliar recomendado de potássio para a cana de açúcar é entre 10 e 16 g kg^{-1} . Este fator da nutrição potássica possivelmente pode estar comprometendo a produtividade total de biomassa verde, tendo em vista que o potássio é um dos nutrientes requeridos em maior quantidade pela cultura da cana de açúcar.

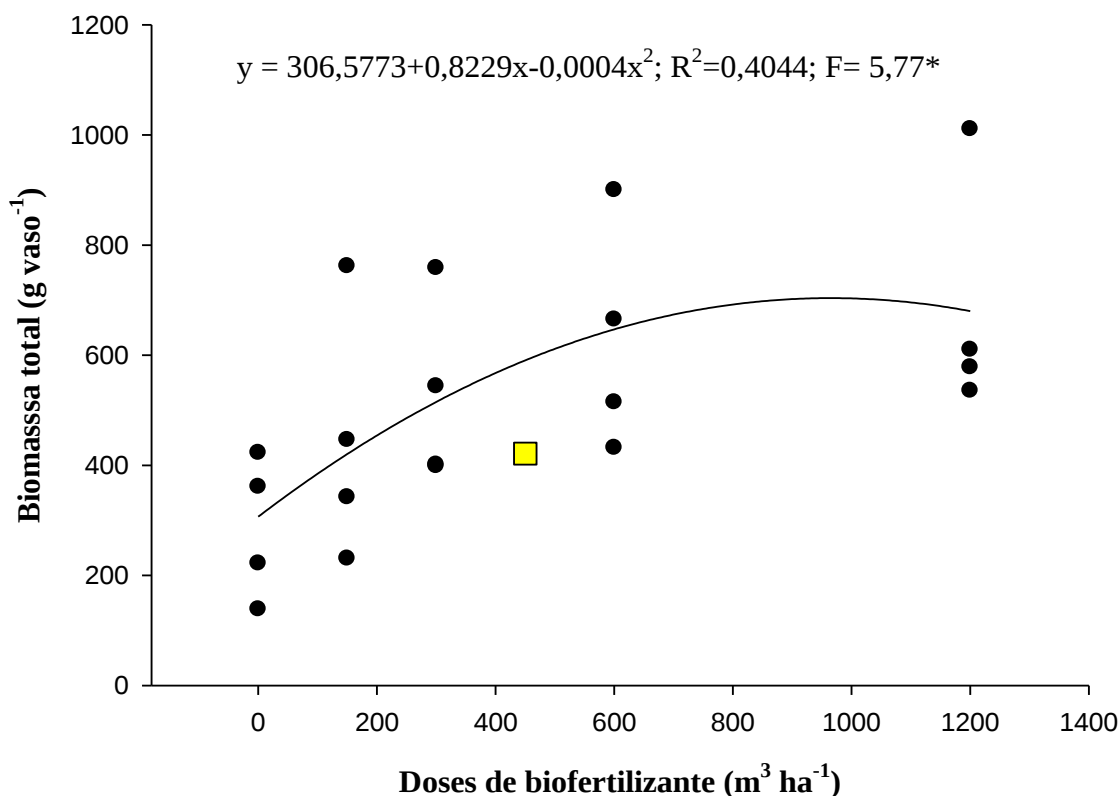


Figura 40. Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de Biomassa Total verde da cana energia soca II em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico. ■ Média NPK. ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

Observou-se, no experimento, que o efeito residual da aplicação do biofertilizante no LATOSSOLO VERMELHO Ácrico foi significativo para a produção de biomassa total verde (Figura 41). Para as doses 600 e 1200 m³ ha⁻¹ foram encontradas as médias 987,28 e 947,91 g vaso⁻¹. Já para o tratamento NPK e controle as médias foram 661,50 e 497,28 g vaso⁻¹ de produtividade de biomassa. Comparando as doses de 600 e 1200 m³ ha⁻¹ com o tratamento controle observa-se incrementos de produtividade de 98,53 e 90,61%.

A aplicação do biofertilizante incrementou, com ajuste quadrático, embora com o valor médio do coeficiente de determinação relativamente médio ($R^2 = 0,69$). Porém derivando a função dada pela equação que descreve a curva de biomassa total verde foi obtida a dose de 823,07 m³ ha⁻¹ que permite maior produtividade de biomassa. Nobile et al (2011) trabalhando com biofertilizante na cana observaram efeitos positivos do biofertilizante em relação ao tratamento controle, porém observaram também que para cultivo de cana planta a adubação mineral mostrou-se mais eficaz que o biofertilizante na matéria seca de parte aérea.

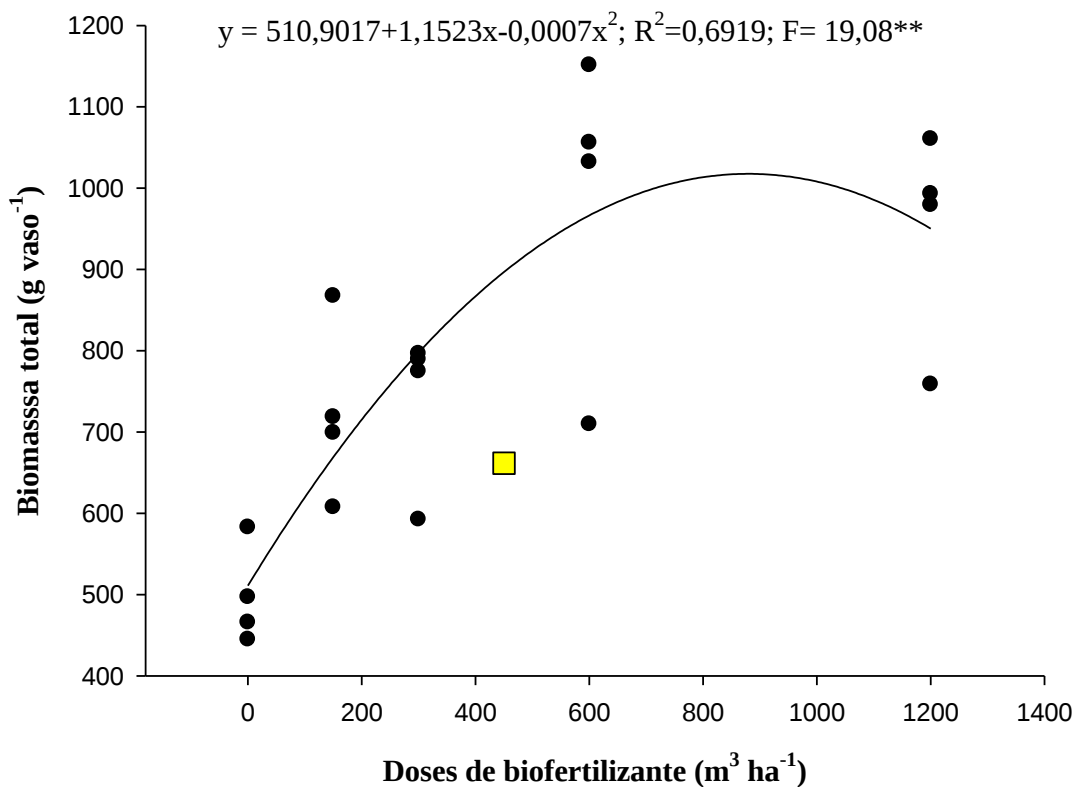


Figura 41. Efeito da aplicação de biofertilizante na Produtividade de Biomassa Total verde de cana energia soca II em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico. Média NPK. ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

4.3.3 DIAGNOSE FOLIAR

O efeito residual da aplicação de biofertilizante na segunda soqueira de cana energia afetou o teor de nutrientes na folha+1 da cultura (Tabela 11). Foram encontrados efeitos significativos para os seguintes nutrientes: fósforo, potássio, magnésio e ferro. Entretanto, para os demais nutrientes no tratamento, não houve efeito significativo da aplicação de biofertilizante no teor dos nutrientes. No solo houve efeito significativo para fósforo, potássio, magnésio, cobre e manganês, para os demais não foram observados efeitos significativos.

Tabela 11. Análise de variância dos teores foliares: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) na cana energia em função do tipo de solo e dos tratamentos.

Causa Variação	Teste F								
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
Tratamento	1,15 ^{ns}	4,32**	7,74**	2,01 ^{ns}	3,46*	1,99 ^{ns}	10,48**	1,21 ^{ns}	2,11 ^{ns}
Solo	3,38 ^{ns}	10,99**	64,23**	3,00 ^{ns}	4,30*	28,73**	3,41 ^{ns}	5,93*	4,14 ^{ns}
Solo*Tratamento	0,54 ^{ns}	3,06*	4,68**	2,02 ^{ns}	1,82 ^{ns}	0,85 ^{ns}	5,00 ^{ns}	2,39 ^{ns}	1,47 ^{ns}
CV (%)	47,00	26,25	16,60	19,03	21,56	36,70	58,07	79,18	36,11

Obs. ** - significativo a 1 %, * -significativo a 5% e ns – não significativo

O efeito residual da aplicação de biofertilizante no LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico na segunda soqueira de cana energia não afetou o teor de potássio na folha+1 da cultura (Figura 42). Observando os teores de potássio nota-se uma variação de 1,8 a 4,40 g kg⁻¹. De acordo com Raij (2011), os teores de potássio na folha+1, que se encontram na faixa adequada estão entre 10 a 16 g kg⁻¹. Esse fato é importante, pois evidencia que o efeito residual do biofertilizante na soqueira II ou seja, no terceiro cultivo os teores de potássio na cana energia se encontram bem abaixo dos limites descritos na literatura.

No tratamento NPK foi encontrada a média 3,10 g kg⁻¹, no tratamento controle 2,85 g kg⁻¹, e nas doses 600 e 1200 m³ ha⁻¹, 2,75 e 2,20 g kg⁻¹. Esse fato pode ter ocorrido principalmente devido à maior percolação deste nutriente no perfil do solo em função da textura mais arenosa (70 g kg⁻¹ de areia) que o outro solo em estudo e menor CTC do LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico (1,98 cmolc dm³). A disponibilidade de potássio, assim como a capacidade de suprimento deste nutriente pelo solo, depende da presença de minerais primários e secundários, da aplicação de fertilizantes e da CTC do solo, além da ciclagem do nutriente pelas plantas (Werle et al., 2008).

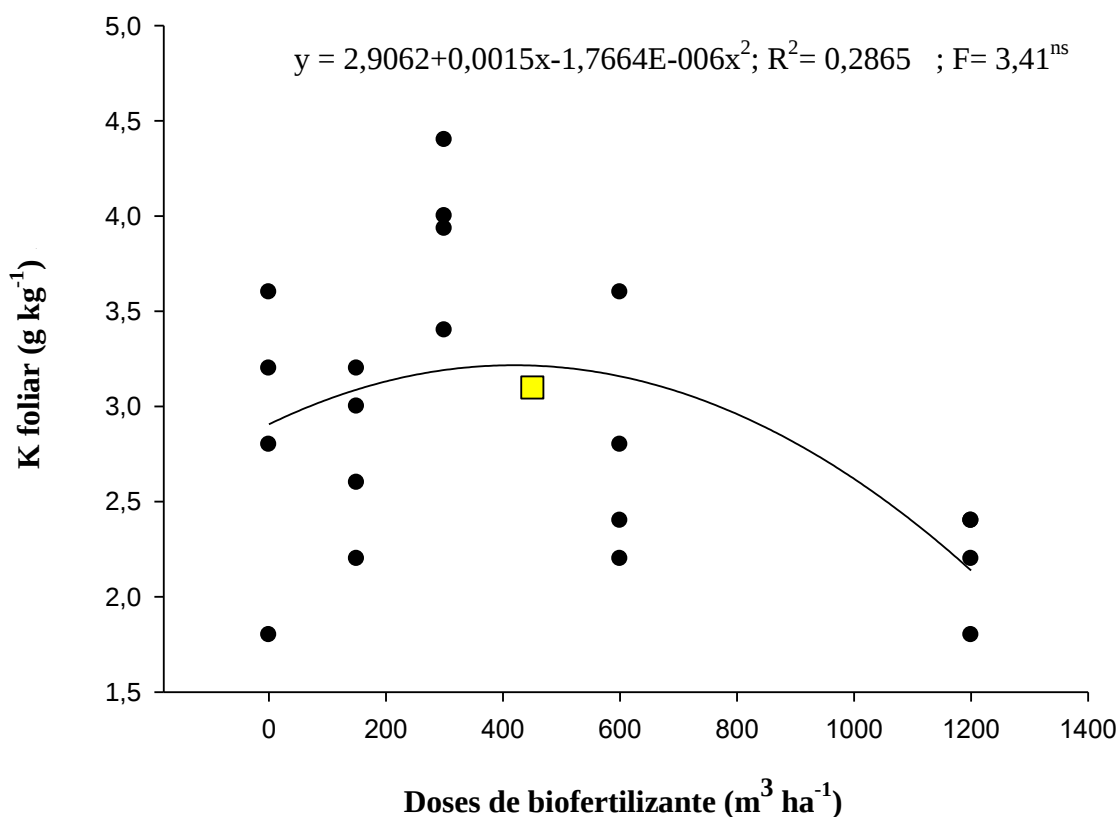


Figura 42. Teor de potássio (K) na folha em função da aplicação de biofertilizante na cana energia soca II em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico. NPK ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

O efeito residual da aplicação de doses de biofertilizante na soqueira da cana energia causou efeito significativo no teor foliar de potássio no LATOSSOLO VERMELHO Ácrico (Figura 43). A aplicação do biofertilizante incrementou, com ajuste quadrático, embora com o valor médio do coeficiente de determinação relativamente baixo ($R^2 = 0,44$), indicando variabilidade dos resultados com pouca importância agrônômica.

As médias dos teores foliares no tratamento controle e no NPK foram 1,78 e 2,5 g kg⁻¹ e para as doses 600 e 1200 m³ ha⁻¹ foram as 2,5 e 1,85 g kg⁻¹. Estas médias se encontram abaixo do nível recomendado na literatura, fato esse que pode estar associado ao terceiro cultivo com a adubação residual do biofertilizante do primeiro cultivo (cana planta).

Segundo Raij (2011), os teores de potássio na folha+1, nos dois solos, não são adequados (10-16 g kg⁻¹). Observando estes dados é recomendável fazer uma adubação com o biofertilizante, pois na sua composição química apresenta o potássio em maiores concentrações quando comparado aos outros macronutrientes.

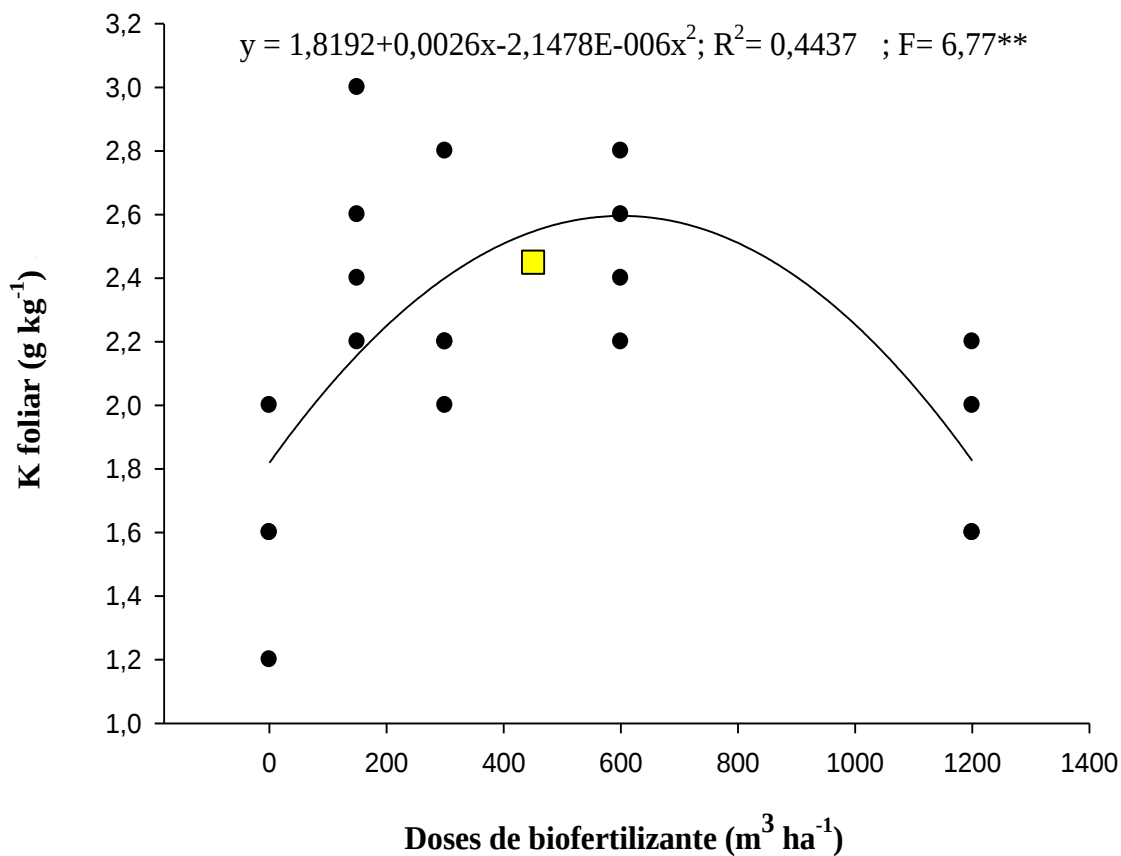


Figura 43. Teor de potássio (K) na folha em função da aplicação de biofertilizante na cana energia soca II em um LATOSSOLO VERMELHO Ácrico. ■ NPK ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

4.3.4 FERTILIDADE DO SOLO

O efeito residual da aplicação do biofertilizante não apresentou efeito significativo entre tratamentos para os seguintes atributos químicos do solo: pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, capacidade de troca de cátions e saturação por bases, mas significativo para a matéria orgânica. Em relação ao solo, observaram-se diferenças significativas para os seguintes atributos: matéria orgânica, pH, fósforo, cálcio, capacidade de troca de cátions e saturação por bases (Tabela 12).

Uma hipótese para a falta de significância nos resultados dos atributos químicos é o fato de estar estudando um efeito residual da aplicação do biofertilizante na cana planta, onde se teve mais dois cultivos (soqueira I e II) e posterior avaliação da fertilidade do solo. De acordo com Plucknet et al (1970), uma das principais causas para o declínio da produção

de cana em soqueiras sucessivas é o declínio no estado de nutrientes do solo devido à exportação das soqueiras anteriores.

Tabela 12. Análise de variância dos atributos químicos do solo: matéria orgânica (MO), pH, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio(Mg), Capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%) na cana energia em função do tipo de solo e dos tratamentos.

Causa de Variação	Teste F							
	MO	pH	P	K	Ca	Mg	CTC	V%
Tratamento	4,02**	1,01 ^{ns}	0,57 ^{ns}	1,17 ^{ns}	1,41 ^{ns}	2,14 ^{ns}	0,81 ^{ns}	2,16 ^{ns}
Solo	152,94**	87,35**	7,94**	0,03 ^{ns}	4,95*	3,30 ^{ns}	100,02**	30,22**
Solo*Tratamento	3,27*	0,89 ^{ns}	0,49 ^{ns}	1,03 ^{ns}	0,81 ^{ns}	1,62 ^{ns}	0,49 ^{ns}	1,91 ^{ns}
CV (%)	21,11	5,43	101,86	117,46	31,15	25,57	13,47	14,03

Obs. ** - significativo a 1 %; * -significativo a 5% e ns – não significativo

5 **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

1. A aplicação de doses crescentes do biofertilizante melhora a produtividade da cana energia planta e soca I.

2. As doses de biofertilizante na cana planta são significativamente responsivas para as variáveis fisiológicas: fotossíntese condutância estomática e transpiração.

3. O efeito residual do biofertilizante na segunda soqueira de cana energia não afeta o desenvolvimento da cultura em altura, diâmetro e produção de colmos, entretanto aumenta o número de perfilhos.

4. A aplicação de biofertilizante aumenta o teor de potássio na planta, com reflexo na produção de colmos da cana energia planta.

5. Em termos de produtividade o LATOSSOLO VERMELHO Ácrico proporciona maior produtividade do que o LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico na cana planta.

6. No entanto, os desafios atuais estão em ampliar os estudos em cana energia no que diz respeito à adubação com biofertilizante, de modo a aumentar o aproveitamento de nutrientes, pois no presente momento ainda são escassos materiais na literatura que abordem a questão da nutrição da cana energia.

7. Contudo, para que seja possível uma recomendação de adubação com biofertilizante mais ajustada e/ou precisa deve-se levar em conta todos os fatores como tipo de solo, clima e cultivares. O presente estudo serve de um aporte para experimentos em campo que devem ser realizados para observar o padrão de resposta da cana energia, uma vez que, estes resultados se aplicam em condições controladas em casa de vegetação.

6 REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Biomassa**. In: Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 2 ed. Brasília: ANEEL, 2005. p. 77-92. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa.pdf>>. Acesso em: 25 agosto 2017.
- BARROS, R. P.; VIÉGAS, P. R. A.; SILVA, T. L.; SOUZA, R. M.; BARBOSA, L.; VIÉGAS, R. A.; BARRETTO, M. C. V.; MELO, A. S. Alterações em atributos químicos de solo cultivado com cana-de-açúcar e adição de vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 3, p. 341-346 2010.
- BEBÉ, F. V.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M.; SILVA, G. B.; OLIVEIRA, V. S. Avaliação de solos sob diferentes períodos de aplicação com vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 6, p. 781-787, 2009.
- BOEHRINGER, D. **Determinação da transpiração da cana-de-açúcar por métodos térmicos**. 2010. 144 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2010.
- BONASSA, G.; SCHNEIDER, L. T.; FRIGO, K.; FEIDEN, A.; TELEKEN, J. G.; FRIGO, E. P. Subprodutos Gerados na Produção de Bioetanol Bagaço Torta de Filtro água de Lavagem e Palhagem. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 4, n. 3, 2015.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanço energético nacional - BEN**. Brasília: MME, 1982.
- CARVALHO-NETTO, O. V.; BRESSIANI, J. A.; SORIANO, H. L., FIORI, C. S.; SANTOS, J. M.; BARBOSA, G. V.; PEREIRA, G. A. The potential of the energy cane as the main biomass crop for the cellulosic industry. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 1, n. 1, p. 20, 2014.
- CASAGRANDE, A. A. 1991. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157 p.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileiro – cana-de-açúcar: Quarto levantamento, abril 2019 – safra 2018/2019**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2019. Disponível em: www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/item/download. Acesso em: 20 dez. 2019.
- CTBE. **BioVertis: Cana-energia**. 2017. Disponível em: <http://pages.cnpem.br/wectbe/wp-content/uploads/sites/83/2017/04/Jose_Bressiani_2017_03_30_Cana_energia_Granbio_CTBE.pdf>. Acesso em: 25 agosto 2017.

CETESB – **Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo**. Vinhaça – critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. Norma 72 Técnica P4.231, 2006 disponível em: Acesso em: 12 outubro 2018.

DALRI, A. B.; CORTEZ, G. E. P.; RIUL, L. G. S.; ARAÚJO, J. A. C.; CRUZ, R. L. Influência da aplicação de vinhaça na capacidade de infiltração de um solo de textura franco arenosa. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 4, p. 344-352, 2010.

DEMIRER, G.N.; CHEN, S. Two-phase anaerobic digestion of unscreened dairy manure. **Process Biochemistry**, v. 40, n. 4, p. 3.542-3.549, 2005.

DINIZ, K. M. **Subsídios para a gestão dos planos de aplicação da vinhaça (PAV):** um estudo de caso da região de Piracicaba. 2010. Dissertação (Mestrado profissional em agroenergia) - Escola de Economia de São Paulo, Piracicaba, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5 ed. Brasília, 2018. 355 p.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras- MG: ESAL-FAEPE, 1994. 227 p.

FERNANDES, A. C. Autorização da colheita da cana-de-açúcar. In: SEMANA DE FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA “JAIME ROCHA DE ALMEIDA”, Anais. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. **Resumos**. São Paulo. 1985. p.12-21.

FORESTI, E.; FLORÊNCIO, L.; HAANDEI, A. V.; ZAIAT, M.; CAVALCANTI, P. F. F. **Fundamentos do Tratamento Anaeróbio**. In.: CAMPOS, J. R. (Coord.). Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo. 1ª ed. Rio de Janeiro: Rima Artes e Textos, p. 29-52. 1999.

FLORES, R. A. **Nutrição potássica em soqueiras de cana-de-açúcar com colheita sem despalha a fogo**. 2012. 90 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal, 2012.

FREIRE, W. J.; CORTEZ, L. A. B. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. Guaíba: Agropecuária, 2000.

GENOVESE, A. L.; UDAETA, M. E. M.; GALVÃO, L. C. R. **Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo**, In Congresso internacional sobre geração distribuída e energia no meio rural, Campinas, 2006.

GOLDEMBERG, J. Biomass and energy. **Química nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 582-587, 2009.

IZUMI, K.; OKISHIO, Y.; NAGÃO, N.; NIWA, C.; YAMAMOTO, S.; TODA, T. Effects of particle size on anaerobic digestion of food waste. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 64, p. 601- 608, 2010.

JUNQUEIRA, C. D. Á. R.; JUNIOR, V. E. M.; LOSSARDO, L. F.; DA CUNHA FELICIO, B.; JUNIOR, O. M.; FOSCHINI, R. C.; LORANDI, R. Identificação do potencial de contaminação de aquíferos livres por vinhaça na bacia do Ribeirão do Pântano, Descalvado (SP), Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 39, n. 3, p. 507-518, 2009.

KIM, M.; DAY, D. F. Composition of sugar cane, energy cane, and sweet sorghum suitable for ethanol production at Louisiana sugar mills. **Journal of industrial microbiology & biotechnology**, v. 38, n. 7, p. 803-807, 2011.

LAMONICA, H. M. **Potencial de geração de excedentes de energia elétrica a partir da biodigestão da vinhaça**. Campinas: Ed. Unicamp, 2006.

LELIS NETO, J. A. **Monitoramento de componentes químicos da vinhaça aplicados em diferentes tipos de solo**. 2008. 89 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2008.

LUDOVICE, M. T. F. **Estudo do efeito poluente da vinhaça infiltrada em canal condutor de terra sobre o lençol freático**. 1997. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UNICAMP, Campinas, 1997.

MAGHANAKI, M.; GHOBADIANA, B.; NAJAFIA, G.; JANZADEH GALOGAH, R. Potential of biogas production in Iran. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 1153-1158, 2013.

MALAVOLTA, E. **Importância da adubação na qualidade dos produtos – função dos nutrientes na planta**. In: SÁ, M. E.; BUZZETI, S. Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas. São Paulo, Editora Ícone, 1994. p. 19-44.

MARIANO, J. **Cana-energia, a revolução sucroenergética está começando**. Nova Cana, 20 outubro 2015.

MARIN, F. R.; PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J. Cana-de-açúcar. In: MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: INMET, 2009.

MATSUOKA, S.; BRESSIANI, J.; MACCHERONI W.; FOUTO, I. **Sugarcane Bioenergy**. In: Santos, F.; Borém, A.; Caldas, C. Sugarcane: Bioenergy, Sugar and Ethanol - Technology and Prospects. Viçosa, 2012. p.471-500.

MARTÍNEZ, E.; LÓPEZ, M.; ORMEÑO, O.; MOLES, C. Manual teórico-práctico: **Los Biofertilizantes y su uso en la Agricultura**. 2013.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, England, v. 51, n. 345, p. 659-668, 2000.

MEDINA, C. C.; NEVES, C. S. V. J.; DE BATISTA FONSECA, I.C.; TORRETI, A. F. Crescimento radicular e utilização de cana-de-açúcar em funções de doses de vinhaça em fertirrigação. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 23, n. 2, p. 179-184, 2002.

MESA, L. R. M. **Estudo da pirólise de cana-de-açúcar integral**. 2011. 86 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, 2011.

MORAES, B. S.; ZAIAT, M.; BONOMI, A. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane ethanol production in Brazil: Challenges and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 44, n. C, p. 888–903, 2015.

NOBILE, F. O. D.; 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.

NOGUEIRA, T. A. R.; SAMPAIO, R. A.; FERREIRA, C. S.; FONSECA, I. M. Produtividade de milho e de feijão consorciados adubados com diferentes formas de lodo de esgoto. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, São Cristóvão, v.6, n.1, p. 122-131, 2006.

OKUNO, F. M. **Desempenho econômico de um sistema de produção de biomassa da cana energia**. 2016. 95 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Sistema Agrícolas) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

PAULINO, J.; ZOLIN, C. A.; BERTONHA, A.; FREITAS, P. S. L.; FOLEGATTI, M. V. Estudo exploratório do uso da vinhaça ao longo do tempo. II. Características da cana de açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 3, p. 244-249, 2011.

PAULINO, A. F.; MEDINA, C. C.; ROBAINA, C. R. P.; LAURANI, R. A. Produções agrícola e industrial de cana de açúcar submetida a doses de vinhaça. **Semina**, Londrina, v. 23, n. 2, p. 145-150, 2002.

PANCELLI, M. A. **Nutrição potássica e produção da soqueira de cana-de-açúcar no sistema de cana crua**. 2011. 39 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção vegetal) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal, 2011.

PINTO, C. P. **Tecnologia da Digestão Anaeróbica da Vinhaça e Desenvolvimento Sustentável**. 1999. 162 f. Dissertação de Mestrado, (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo, 2008. 407 p.

PLUCKNETT, D.L.; EVENSON, J.P.; SANFORD, W.G. Corte de Ratoon. **Adv Agron.** v. 22, p. 285-330, 1970.

RAIJ, B. VAN; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônômico de Campinas, 2001. 285 p.

RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; HIROCE, R.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 1996. 285 p.

RAIJ, B. VAN. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. In: RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. p. 157-171.

RODRIGUES, A.; SANTOS, R. F.; AVACI, A. B.; ROSA, H. A.; CHAVES, L. I.; GASPARIN, E. Estimativa do potencial de geração de energia elétrica a partir da vinhaça. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 1, n. 2, p. 80-93, 2012.

ROSOLEM, C. A.; SILVA, R. H.; ESTEVES, J. A. F. Suprimento de potássio a raízes de algodoeiro em razão da adubação potássica e calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 5, p. 635-641, 2003.

ROSOLEM, C. A.; SANTOS, F. P. D.; FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 6, p. 1033-1040, 2006.

SANTOS, A. C.; AKIBA, F. **Biofertilizantes líquidos: uso correto na agricultura alternativa**. Seropédica: UFRRJ, Impr. Univer. 1996. 35 p.

SANTOS, F. A.; QUEIRÓZ, J. H. D.; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, v. 35, n. 5, p. 1004-1010, 2012.

SILVA, F. C. **Manual de análises, químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

SOARES, E. R.; BASEGGIO, E. A.; SENA, S. P. de; PEREIRA, M. D. Emergência e desenvolvimento inicial de plântulas de cupuaçu em substrato enriquecido com biofertilizante. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 9, n. 1, p. 176-184, 2014.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.

SOOBADAR, A.; KWONG, N.G. K. Impact of high rates of vinasse on some pertinent soil characteristics and on sugarcane yield in mauritius. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 36, n. 1, p. 36-53, 2012.

STAMFORD, N. P.; LIMA, R. A.; SANTOS, C. E. R.S.; DIAS, S. H. L. Biofertilizers with acidithiobacillus on sugarcane yield and nutrients uptake in a tableland soil. **Geomicrobiology**, London, v. 23, p. 261-265, 2006.

UENO, C. R. J.; COSTA, A. C. S. D.; GIMENES, M. L.; ZANIN, G. M. Agricultural recycling of biodigested vinasse for lettuce production. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 9, n. 4, p. 593-601, 2014.

WANG, F.; CHEN, L.; ZHAO, L. N.; REN, C. The progress and prospects of rural biogas production in China. **Energy Policy**, v. 51, p. 58-63, 2012.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2297-2305, 2008.

XAVIER, T. F. **Vinhaça in natura e biodigerida concentrada: efeitos nas características químicas e bioquímicas do solo e no crescimento inicial da cana-de-açúcar**. 2012. 68 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Ciência do solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal, 2012.

YANG, R. L.; ZHU, Q. Z.; WANG, W.Z.; SALOMÃO, S. Multi location trials to evaluate a novel system of vinasse application in sugar cane field and its impact on cane growth and sugar productivity. In: International Symposium on Technologies to Improve Sugar Productivity in Developing Countries, 2006, China. **Abstract**. p. 131-139.